This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

BOIS ET MÉTAUX

Digitized by Google

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

Digitized by Google

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

BOIS ET MÉTAUX

PAR

EUGÈNE AUCAMUS

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
ATTACHÉ AU SERVICE DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DES CHEMINS DE FER DU NORD

PARIS

Vve CH. DUNOD ET P. VICQ, ÉDITEURS

LIBRAIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES CHEMINS DE FER

49 Quai des Grands-Augustins 49

1896

Digitized by Google

Eng 1278.96

HARVARD COLLEGE
AUG 7 1896
LIBRARY.

Bowditch fund.

JUN 20 1917
TRANSFERRED TO
HARVARD COLLEGE LIBRARY

Digitized by Google

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

PUBLIÉE SOUS LES AUSPICES

DE MONSIEUR LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS

Comité de patronage

BECHMANN	Ingénieur en chef de l'assainissement (Service municipal de la ville de Paris), Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
BOREUX	Ingénieur en chef de la voie publique (Service municipal de la ville de Paris).
BOUVARD	Inspecteur général des services techniques municipaux d'architecture de la ville de Paris.
BROUARDEL (le Prof^r)	Doyen de la Faculté de médecine, Membre de l'Institut, Président de l'Association polytechnique.
COLSON	Maître des requêtes au Conseil d'État, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
COMTE (J.)	Ancien directeur des Bâtiments civils et des Palais nationaux au Ministère des Travaux publics.
DEBAUVE	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Agent voyer en chef de l'Oise, auteur du *Manuel de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées.*
DELECROIX	Avocat, Docteur en droit, Directeur de la *Revue de la Législation des Mines.*
DONIOL	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
BOUSQUET (du)	Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Cie des Chemins de fer du Nord.
FLAMANT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées de l'Algérie.
GAY	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'Ecole des Ponts et Chaussées.
GRILLOT	Président honoraire de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines.
GUILLAIN	Conseiller d'État, Directeur des Routes, de la Navigation et des Mines au Ministère des Travaux publics.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE	Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Directeur de l'Ecole nationale supérieure des Mines.
HENRY (E.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du personnel et de la Comptabilité au Ministère des Travaux publics.
HUET	Inspecteur général des Services administratifs de la ville de Paris.
HUMBLOT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du Service des Eaux de la ville de Paris.

Digitized by Google

JOUBERT	Président de la Société des Anciens Elèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers.
LAUSSEDAT (le Colonel)	Membre de l'Institut, Directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers.
Me LE BERQUIER	Avocat à la Cour d'appel de Paris.
MARTIN (J.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
MARTINIE	Contrôleur général de l'Administration de l'Armée.
METZGER,	Inspecteur des Travaux publics des Colonies.
MICHEL (J.)	Ingénieur en chef au Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
NICOLAS	Conseiller d'Etat, Directeur du Commerce intérieur et de l'Enseignement technique au Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes.
PHILIPPE	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'Hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture.
PILLET	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.
Le **Président** de la Société des Ingénieurs civils de France.	
RÉSAL	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
ROUCHÉ	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.
SANGUET	Président de la Société de Topographie parcellaire de France.
TAVERNIER (de)	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.
TISSERAND	Conseiller d'Etat, Directeur de l'Agriculture au Ministère de l'Agriculture.
TRICOCHE (le Général)	Président de la Société de Topographie de France.

Digitized by Google

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

Comité de rédaction

SIÈGE : 46, QUAI DE L'HÔTEL-DE-VILLE

Bureau

PRÉSIDENT :

JOLIBOIS Conducteur des Ponts et Chaussées, Navigation de la Seine (Entretien des ponts de Paris), Président de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines, Membre des Sociétés des Ingénieurs civils, des anciens élèves des Ecoles d'Arts et Métiers, de Topographie de France, etc., Professeur à l'Association philotechnique.

VICE-PRÉSIDENTS :

LAYE Ingénieur des Arts et Manufactures (Cie du Chemin de fer du Nord).

VERDEAUX Inspecteur de la voie (Cie du Chemin de fer d'Orléans), Membre de la Société des Ingénieurs civils de France.

VIDAL Conducteur des Ponts et Chaussées (Contrôle des Chemins de fer du Midi).

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL :

CANAL Conducteur des Ponts et Chaussées, Contrôleur Comptable des Chemins de fer (Orléans).

SECRÉTAIRES :

DEJUST Conducteur municipal, Service des Eaux, Ingénieur des Arts et Manufactures.

DIÉBOLD Conducteur des Ponts et Chaussées, Assainissement (Service Municipal).

HABY Rédacteur au Ministère des Travaux Publics.

MEMBRES DU COMITÉ :

ALLEGRET Conducteur des Ponts et Chaussées, Contrôleur Comptable des Chemins de fer (Ouest).

BONNET Conducteur des Ponts et Chaussées, Service de l'Eclairage de la ville de Paris, Vice-Président de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines.

Digitized by Google

BOSRAMIER	Conducteur principal des Ponts et Chaussées, Contrôle du Chemin de fer d'Orléans.
DACREMONT	Conducteur des Ponts et Chaussées, Service municipal (Assainissement).
DARIÈS	Conducteur Municipal (Service des Eaux), Licencié ès Sciences.
DECRESSAIN	Contrôleur des Mines, professeur à l'École d'Horlogerie.
EYROLLES	Conducteur des Ponts et Chaussées, Professeur de Mathématiques appliquées, Membre de la Société des Ingénieurs civils.
HALLOUIN	Inspecteur particulier de l'Exploitation des Chemins de fer.
MALETTE	Conducteur des Ponts et Chaussées, Service ordinaire et vicinal.
A.-H. PILLIET (Dr)	Ancien interne, Lauréat des Hôpitaux, Chef du Laboratoire de Clinique chirurgicale de La Charité.
PRADÈS	Rédacteur au Ministère de l'Agriculture.
REBOUL	Contrôleur des Mines, Appareils à vapeur.
REVELLIN	Contrôleur des Mines, Ingénieur Adjoint des Services Administratifs de la Guerre.
ROTTÉE	Conducteur principal des Ponts et Chaussées, Ancien Chef de Bureau de l'Agent voyer en Chef du Département de la Seine.
SIMONET	Conducteur des Ponts et Chaussées (Service municipal, Voie Publique).
SAINT-PAUL	Conducteur Municipal (Service de l'Eclairage), Professeur de Topographie.
WALLOIS	Conducteur principal des Ponts et Chaussées (Service municipal, Voie publique).

Digitized by Google

AVERTISSEMENT

L'ouvrage que nous présentons au public n'est pas nouveau, les matières qu'il renferme ayant été déjà très largement traitées, trop largement pour le but restreint que la « Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics » se propose d'atteindre.

Dans la première partie, qui traite des *Bois*, nous avons cherché à indiquer succinctement les principales caractéristiques de chaque essence, qualités, défauts, mise en œuvre; nous nous sommes borné à signaler les avantages et les inconvénients des nombreuses machines employées dans le travail des bois, de manière à permettre à un conducteur de travaux ou à un chef d'atelier d'apprécier tel outil de préférence à tel autre.

Dans la seconde partie, *Métaux*, nous nous sommes attaché à donner un aperçu assez complet des opérations métallurgiques, un classement général des produits obtenus tout récemment à l'aide de procédés spéciaux et leur application rationnelle. Le travail des métaux a été traité de la façon la plus large possible; le chapitre des *Assemblages*, d'un intérêt capital et d'une application journalière, a été l'objet d'une étude très détaillée et documentée : le praticien y trouvera tous les renseignements dont il pourra avoir besoin.

Nous devons un grand nombre de renseignements à l'obligeance de MM. Jametel, Panhard et Levassor,

Digitized by Google

ingénieurs-constructeurs ; nous avons également fait quelques emprunts aux excellents ouvrages de MM. Debauve (*Procédés et Matériaux de Construction*), Alheilig (*Travail et Recette des Bois*) et Oslet (*Matériaux de Construction*).

Les ouvrages de nos anciens professeurs : Hallopeau (*Métallurgie*), Jordan, Tresca (*Construction de Machines*), ont souvent été mis à contribution pour la rédaction de notre ouvrage ; nous tenons à exprimer ici à nos maîtres distingués le témoignage de notre gratitude.

L'AUTEUR.

Digitized by Google

BOIS ET MÉTAUX

PREMIÈRE PARTIE

BOIS

CHAPITRE I

CLASSIFICATION DES BOIS. — QUALITÉS ET DÉFAUTS

§ 1. — Généralités

1. Composition du bois. — On donne le nom de bois à la substance dure et solide qui se trouve sous l'écorce des arbres.

Au point de vue chimique, sa composition est assez complexe : la substance du bois est constituée par des cellules élémentaires; chaque cellule a ses parois formées de cellulose, substance non azotée ($C^{12}H^{10}O^{10}$), et contient une matière incrustante de composition variable suivant les essences : la cellulose domine dans les bois blancs et légers, et constitue presque exclusivement la matière textile (lin, chanvre) ; mais, quand l'arbre vieillit, quand le bois devient dur et compact, la matière incrustante devient abondante. Les bois verts renferment également des substances gommeuses et résineuses, des matières azotées en dissolution dans la sève, et qui influent sur leur conservation, enfin de l'eau en quantité variable.

Voici la composition centésimale du bois, d'après Chevandier de Valdrôme :

Carbone	51,21	Oxygène	41,45
Hydrogène	6,24	Azote	1,10

Digitized by Google

Cette analyse ne comprend pas les cendres, qui sont de 1,17 0/0 et qui contiennent 7 à 15 0/0 de potasse, 14 à 16 0/0 de chaux et des traces de phosphates. Les jeunes branches produisent plus de cendres que les vieilles.

2. Le bois se conserve indéfiniment dans l'air sec et dans l'eau privée d'air, mais les alternatives de sécheresse et d'humidité favorisent sa corruption ; la fermentation de la sève contenue dans les tissus occasionne la pourriture, et les matières azotées qu'elle contient servent de nourriture aux insectes destructeurs.

L'acide sulfurique noircit le bois, puis le transforme en matière gommeuse ; l'acide azotique le rougit ; à chaud, il le transforme en acide oxalique. La potasse concentrée le dissout ; le chlore blanchit le bois, mais ne le dissout pas.

3. Structure du bois. — Si l'on fait la coupe transversale d'un tronc d'arbre dicotylédoné, on voit qu'elle présente une

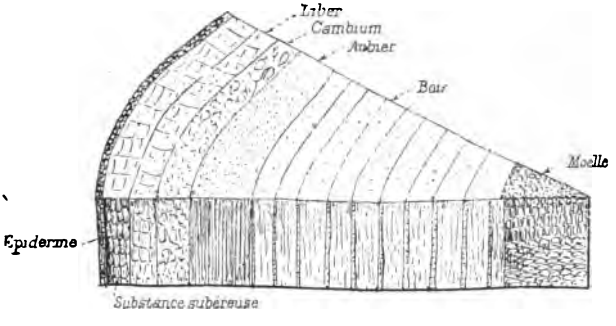


Fig. 1

série de couches circulaires concentriques formant trois parties distinctes : l'écorce, le corps ligneux, et la moelle (*fig.* 1).

L'*écorce* présente une membrane extérieure nommée épiderme, lisse et continu sur les jeunes sujets, fendillé et desséché sur les vieilles tiges. Au-dessous de l'épiderme, et le

Digitized by Google

remplaçant parfois, on trouve l'*enveloppe subéreuse*, couche composée de cellules prismatiques fortement unies entre elles, et atteignant parfois un grand développement; c'est le liège (*suber*) du chêne. Enfin, le liber, formé d'une série de feuillets analogues à ceux d'un livre, est composé de fibres corticales, fibres résistantes, longues, réunies en faisceaux, et offrant une grande ténacité : ce sont ces fibres qui forment la matière textile du chanvre et du lin.

Entre l'écorce et le corps ligneux on remarque le *cambium*, sorte de sève mucilagineuse d'abord peu consistante, puis organisée. Pendant la période de végétation, le tissu du cambium se transforme du côté externe en liber, et intérieurement en aubier; chaque année, la sève descendante développe entre les deux une nouvelle couche de cambium.

Le *corps ligneux* comprend l'*aubier* ou bois tendre, et le bois proprement dit, de même structure que l'aubier, mais plus foncé et plus dur, et contenant plus de matière incrustante dans ses cellules. Chaque année, la couche interne de l'aubier se transforme en bois, et une nouvelle couche d'aubier se développe à l'extérieur. L'âge d'un arbre s'évalue par le nombre de couches concentriques que présente le corps ligneux.

La *moelle* occupe le centre de la tige; molle dans les jeunes sujets, elle est sèche, incolore dans les tiges déjà anciennes et se déchire avec facilité.

Les *rayons médullaires* sont des canaux où passe la sève pour aller dans la moelle; ils constituent les *mailles* du bois; on distingue les grands rayons, qui datent de la naissance de l'arbre, et les petits rayons, qui se développent chaque année entre l'écorce et la couche de l'année précédente.

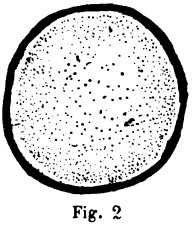


Fig. 2

La tige d'un arbre monocotylédoné présente en coupe l'aspect d'une masse volumineuse de tissu cellulaire au milieu de laquelle sont disséminés des faisceaux fibreux plus nombreux à la circonférence qu'au centre : ces faisceaux représentent le corps ligneux de la tige (*fig.* 2).

Digitized by Google

4. Croissance du bois. — La croissance d'un arbre varie suivant le sol, l'essence, le climat, l'exposition. L'accroissement annuel, rapide quand l'arbre est jeune, augmente plus lentement par la suite, pour se ralentir et s'annuler complètement. Un hectare de forêt produit par an de 2.200 à 3.600 kilogrammes de bois sec.

La *maturité* d'un arbre se reconnaît à son aspect extérieur, à l'abondance des feuilles et à leur vigoureuse coloration, à la force des branches ; elle est atteinte par le chêne à quatre-vingts ans, par le sapin à cent quinze ans. Après cette époque, la végétation se ralentit, et l'arbre entre dans la période de dépérissement ; il est temps de l'abattre, car la circulation de la sève ne se fait plus à l'extrémité des branches, qui se pourrissent.

L'arbre perd sa flèche, il est *couronné*. Le couronnement peut résulter de la pauvreté du sol, du défaut de feuilles ou d'une forte gelée ; le chêne y est particulièrement sujet.

5. Classification des bois. — On classe les bois en deux catégories :

1° Les bois indigènes, qui comprennent quatre classes : bois durs ; bois blancs ; bois à fruits ; bois résineux ;

2° Les bois exotiques.

§ 2. — Première catégorie. — Bois indigènes

Première Classe. — Bois durs

6. Le **chêne** est le bois le plus employé dans l'industrie ; sa résistance aux agents physiques et atmosphériques, les grandes dimensions sous lesquelles il se trouve assez communément, la facilité avec laquelle il se prête aux travaux les plus divers, en font le meilleur de nos bois.

Tout le monde connaît le bois de chêne ; il en existe en France différentes variétés parmi lesquelles il faut citer :

1° Le chêne *rouvre* (*robur*, force) a un bois dur, compact, très résistant ; il a des feuilles pétiolées ; c'est un excellent combustible, l'écorce fournit un tan très estimé ;

2° Le *chêne pédonculé*, ou *chêne commun*, a des feuilles

Digitized by Google

presque sessiles, et les pédoncules fructifères très développés ; il croît plus vite que le précédent ; son bois se prête à tous les usages de la menuiserie ;

3° Le *chêne yeuse*, ou *chêne vert:* son bois est moins estimé que les précédents ; il se conserve mal.

Parmi les espèces exotiques il faut citer le *chêne à galles*, qui fournit la noix et croît en Asie-Mineure, et le *chêne liège*, acclimaté sur nos côtes méditerranéennes.

En menuiserie, on distingue plus souvent les chênes d'après leur pays de provenance. Le chêne dit de Hollande est très employé, à cause du merveilleux poli qu'il peut recevoir; on en fait des panneaux, mais il se prête mal aux assemblages ; il est trop gras. Le chêne des Vosges est le meilleur bois de menuiserie. Le chêne de Fontainebleau est très résistant, rempli de nœuds ; il sert principalement à la fabrication des tables, bancs, portes, etc.

7. Frêne. — Bois de couleur blanche, à zones, à fibres très élastiques, peu serrées ; c'est le plus liant de tous les bois ; il crie avant de se rompre et ne se casse jamais net ; il se fend moins que le chêne, mais les vers l'attaquent facilement. Le frêne se tourne bien, mais se rabote mal ; les broussins [1] du frêne sont appréciés dans l'industrie des petits meubles d'ébénisterie.

L'élasticité du frêne le fait employer pour la fabrication des brancards, des échelles, des chaises. Ce bois est peu utilisé en menuiserie.

8. Orme. — Arbre poussant très haut et très droit, à bois jaune marqué de veines foncées, très solide et très dur. L'orme est employé dans le charronnage, et peu dans la charpente, parce qu'il est piqué par les vers. L'orme se travaille facilement, reçoit bien les assemblages et supporte mieux que le chêne l'effort dans les parties où le bois est tranché. Il se tourne assez bien ; les loupes nombreuses qu'il contient se polissent parfaitement. L'orme se débite en placage ; on

[1] Les loupes, ou *broussins*, sont des tumeurs ou excroissances bosselées, inégales, qui se développent sur les tiges de certains arbres, particulièrement sur l'orme, le noyer, le frêne et le buis.

Digitized by Google

s'en sert pour faire les courbes de voitures, es jantes de roues, les vis de pression, les établis, etc.

L'*orme tortillard* présente des loupes en grande quantité ; il en résulte que les fibres de ce bois sont, pour ainsi dire, entretoisées ; on a ainsi un bois très élastique, convenant bien à la fabrication des moyeux, tenant mieux les rais que les bois de fil, qui, bien que frettés, se fendent communément.

9. Châtaignier. — Bois plus souple que le chêne, plus léger et plus dur. Il se distingue du chêne, qui est maillé, parce qu'il n'a pas de rayons médullaires. Il se conserve bien dans l'eau et s'y durcit ; s'il est mouillé, il se courbe. Il est sujet à la vermoulure ; aussi l'emploie-t-on peu en charpente ; on s'en sert pour faire des clôtures, des tonneaux, des cercles de cuve ; il est très estimé comme bois de chauffage.

10. Noyer. — Bois à grain fin, serré, de couleur brune, diversement veiné. Il est moins dur que le chêne. Le cœur du noyer est très durable, mais l'aubier se conserve peu. On peut raboter le noyer transversalement, ce qui est impossible pour le chêne; il s'assemble bien et se polit parfaitement au tour; malheureusement il est souvent attaqué par les insectes. On s'en sert pour faire des modèles, des panneaux de voitures, des meubles; on en fait aussi des sabots. L'ébénisterie tire un excellent parti des nombreuses loupes qu'il présente, qui se polissent parfaitement et produisent un effet très décoratif.

11. Hêtre. — Bois à grain serré, de couleur pâle, à fibres peu apparentes; il est solide et léger, mais moins élastique que le chêne. On l'emploie peu dans la construction, parce qu'il se fend facilement et qu'il est attaqué par les vers. Il sert en menuiserie (imitation du noyer) et en charronnage; on en fait des tables, des bois de lit, des pelles, des sabots; il fournit un grand nombre de traverses de chemins de fer.

Le hêtre se découpe bien dans tous les sens, se prête à tous les assemblages, et se tourne parfaitement; chauffé avec ses copeaux, il se durcit. Le bois du hêtre fournit un excellent chauffage.

Digitized by Google

Deuxième Classe. — Bois blancs

12. Peuplier. — Arbre élancé, à bois tendre, blanc, léger, très filandreux. On le débite aussitôt après la coupe, car il se conserve mal; on s'en sert couramment pour l'emballage; on en fait des brouettes; il est employé en menuiserie pour le placage de l'acajou. Le *peuplier noir* possède un bois ferme et solide employé en charpente et en menuiserie; on en fait des voliges pour couvertures. Le *peuplier de Hollande*, ou *grisard*, a un bois très liant, se travaillant facilement; il sert à faire des planchers, et entre dans la construction des voitures de chemins de fer.

Acacia. — Bois jaune, présentant de larges veines brunes; assez dur, nerveux et raide, se cassant brusquement. L'acacia se travaille bien au tour et au rabot; il résiste bien au frottement et à l'humidité; il est peu sujet à la pourriture; on l'emploie à la fabrication des rais de rateaux, des échelons, des pièces de tour, des chevilles, etc.; ses applications tendent à se développer; on a fait, tout récemment, des essais de pavage en bois d'acacia.

Tremble. — Espèce de peuplier à feuilles glabres, à bois très tendre, peu solide. Il est surtout employé pour les ouvrages de sparterie.

Aulne. — Bois très léger, de couleur rousse; l'aubier est plus dur que le bois parfait. Il se conserve très longtemps dans l'eau. Il est employé pour pilotis, pour la confection des modèles, pour l'imitation de l'ébène, car il s'imprègne facilement de couleur noire. L'aulne étant généralement piqué par les vers, son emploi est assez limité; il fournit toutefois un excellent combustible.

Bouleau. — Bois blanc nuancé de rouge, à fibres longues, souples; il est moins dur dans nos climats que dans le Nord; c'est le plus dur des bois blancs. Il supporte bien le travail

Digitized by Google

du tour, se courbe assez facilement, mais ne supporte pas les assemblages.

Comme combustible il est employé pour chauffer les fours de boulangerie; le charbon de bouleau est très recherché pour les forges et pour la fabrication de la poudre. L'écorce du bouleau contient un principe résineux qui la rend presque incorruptible; aussi sert-elle à couvrir les cabanes, à faire des cordages, etc.

Le bouleau sert à faire des sabots; il est très employé dans le charronnage.

Tilleul. — Bois blanc tendre, satiné, peu sujet aux nœuds, se tournant et se rabotant bien, mais se cassant net. On s'en sert en sculpture, en menuiserie, pour faire des baguettes; il est employé aussi à la confection des modèles. Le tilleul se conserve bien. Son écorce fibreuse et textile sert à faire des cordages.

Platane. — Bois dur, serré, ressemblant assez au bois de hêtre dont il a, d'ailleurs, les défauts; il se contracte en séchant, se fend facilement et est attaqué par les insectes. Le platane a la propriété de durcir sous l'eau; il se travaille bien au tour.

Charme. — Bois très blanc, dur, pesant, d'un grain uni et serré; il se contracte beaucoup et durcit en séchant. Le charme supporte bien le travail du tour, se polit bien sous le rabot, mais s'assemble mal. Il est employé dans le charronnage, pour la fabrication des manches d'outils, etc.; il est très estimé comme bois de chauffage. L'écorce du charme sert pour le tannage.

Érable. — Bois jaune pâle, à grain serré, rempli de nœuds, sert en menuiserie et en ébénisterie où il est employé en placage; c'est un bon combustible; les luthiers le recherchent également.

Marronnier. — Bois très homogène, assez mou, pouvant recevoir un beau poli; on s'en sert beaucoup en ébénisterie,

Digitized by Google

pour la confection des modèles. Il n'est pas attaqué par les vers.

Troisième Classe. — Bois à fruits

13. Cormier. — Bois gris roux, à grain fin, dur et compact. Il se polit bien, se travaille facilement dans tous les sens quand il est jeune. Il est très estimé en menuiserie pour la fabrication des outils de moulure.

Poirier. — Bois rougeâtre, demi-dur, sans nœuds ni gerçures, extrêmement facile à travailler. Il se contracte beaucoup en se desséchant. Il sert à faire des modèles de machines, des instruments de dessin, et convient au placage. Le *poirier sauvage* est beaucoup plus dur et sert à la construction des manches d'outil.

Pommier. — Bois de moins bonne qualité que le poirier, en général tordu. Quand il est sain, il se travaille bien et fait de bons outils de moulure.

Alisier. — Bois de couleur jaunâtre, très dur lorsque l'arbre est arrivé à maturité. Il se travaille bien, reçoit très nettement les moulures et prend bien la couleur; il sert à faire des alluchons (dents d'engrenage), des rabots, etc.

Cornouiller. — Bois dur, rempli de nœuds, qui rendent son travail difficile ; il est généralement blanc, mais brunit à la longue. Il est recherché pour les roues d'engrenages, les manches d'outil, les rayons des roues et les échelons.

Buis. — Bois jaune, à grain très fin, offrant une grande résistance ; il se polit parfaitement et se travaille bien au tour ; il reçoit très nettement l'action du ciseau. Il est employé pour la gravure sur bois et sert à la confection d'instruments de musique, de mathématiques et de dessin.

Cerisier. — Bois tendre, se travaillant facilement au tour, employé en menuiserie (chaises).

Digitized by Google

Prunier. — Le prunier sauvage présente un bois à grain fin, très liant, diversement veiné; qui se tourne bien et se rabote facilement.

Olivier. — Bois jaune pâle, employé à la fabrication des manches d'outil.

Quatrième Classe. — **Bois résineux**

14. Pin. — Bois blanc, contourné, très solide, mais se pourrissant vite à l'air, surtout lorsqu'il provient de jeunes arbres. On en distingue plusieurs espèces. En particulier, le *pin des Vosges*, le *pin bronzé de Norwège*, employés tous deux à la fabrication du papier. Le *pin sylvestre* est excellent pour mâtures et constructions navales; il est plus dur et plus résistant que le sapin. Le *pin maritime* croît rapidement, aussi son bois est-il de médiocre qualité; on l'exploite surtout pour la résine qu'il fournit. Le *pin de Californie* atteint une très grande hauteur; on s'en sert en charpente.

Sapin. — Bois blanc, très tendre, élastique, sonore, rempli de nœuds; il se rabote bien en long, mais pas en travers. Il se tourne mal. C'est le bois le plus employé en menuiserie de bois blanc; cependant on ne doit l'assembler que lorsqu'il ne doit pas supporter un grand effort. Il se conserve bien. On distingue différentes variétés de sapin : le *sapin commun* ou *argenté*, le *sapin élevé*, l'*épicéa*, etc. On l'utilise pour la confection des échafaudages, en charpente. Les bois de sapin employés dans la charpente doivent être exempts de nœuds, et ne présenter que des couches annuelles ne dépassant pas 6 à 7 millimètres d'épaisseur. Le bois qui croît trop vite se casse net. Actuellement, on recherche pour le pavage le bois de sapin d'Amérique, et aussi celui des Landes, après l'avoir préalablement créosoté ou goudronné.

Mélèze. — Bois rouge ou jaune roux, à grain fin et serré, dur, très résistant; il se conserve bien dans l'air et dans l'eau. Il est très employé dans les constructions navales; on s'en sert aussi pour la grosse charpente, et pour faire des

Digitized by Google

traverses de chemins de fer. On extrait du mélèze une térébenthine très estimée.

If. — Bois rouge, noueux, à grain fin, très dur; il se polit et se conserve bien. L'if croît très lentement et devient d'une grosseur extraordinaire.

Eucalyptus. — Bois originaire de l'Autriche, croissant très vite et atteignant des dimensions gigantesques. Il est inattaquable par les insectes, et se conserve bien. Il est employé dans les constructions navales et en ébénisterie.

§ 3. — Deuxième catégorie. — Bois exotiques

15. Acajou. — Bois rouge, moucheté, très solide, inaltérable à l'air, susceptible de recevoir un beau poli; il n'est jamais attaqué par les vers. Les divers aspects sous lesquels il se présente en font distinguer plusieurs variétés : l'*acajou uni*, l'*acajou veiné*, l'*acajou moiré*, l'*acajou chenillé*, l'*acajou moucheté*.

Le bois d'acajou nous est expédié des Antilles et de l'Amérique du Sud ; il nous arrive en billes de différentes longueurs, de 2 mètres jusqu'à 6 mètres, sur $0^m,38$ à 1 mètre d'équarrissage. L'acajou est rarement employé à l'état massif; comme il se débite en feuilles de $0^m,002$ à $0^m,003$ d'épaisseur, on le plaque sur bois blanc. L'acajou n'est pas taché par l'huile ; on l'emploie à faire des enveloppes de vapeur. Dernièrement il a été fait des essais de chaussées en bois d'acajou ; ce bois qui s'use lentement permet de réduire notablement la hauteur de la chaussée.

Ébène. — L'ébène est constituée par le cœur, ou *duramen*, de plusieurs espèces de plaqueminiers; c'est un bois d'un noir intense, susceptible d'un beau poli, d'un grain serré, compact, d'une densité considérable. Il supporte mal les assemblages et ne s'emploie guère qu'en placage en ébénisterie. Il nous arrive à nu, en bûches de dimensions variant de $1^m,30$ à 6 mètres de longueur et de $0^m,11$ à $0^m,40$ de diamètre. On peut assez bien imiter l'ébène avec du poirier teint.

Digitized by Google

Les espèces les plus estimées sont : 1° l'*ébène noire de Maurice* ; 2° l'*ébène noire de Portugal*, qui nous vient du Brésil, est d'un noir violet, avec des veines grisâtres ; 3° l'*ébène noire veinée de rouge.*

L'aubier de ces arbres est extrêmement blanc.

Gaïac. — Bois indigène des régions équatoriales de l'Amérique, extrêmement dur, résistant merveilleusement au frottement. Il sert à faire des vis, des galets, des coussinets, etc.

Palissandre. — Espèce de bois d'un grain serré, lourd, très dur, pénétré d'une matière résineuse odorante. Sa couleur varie du noisette clair au pourpre foncé. C'est le bois de rose des Anglais. Il est susceptible d'un beau poli. Il nous vient du Brésil, des Antilles et de l'Inde. Il s'emploie surtout en placage.

Thuya. — Bois très dur, généralement noueux ; il se polit parfaitement et sert beaucoup en ébénisterie, à cause des dessins variés qu'il présente. Le thuya est très odorant.

Pitchpin. — Bois poisseux, peu élastique, très dense ; renfermant souvent des roulures ; on tend à l'employer en remplacement du chêne pour la confection des pieux et des palplanches.

Le *yellow-pine* est plus élastique et sert à la confection des portes d'écluse, aiguilles de barrage, etc. ; on l'utilise également dans l'ameublement.

Teak. — Chêne de Malabar ; bois à grain fin, très solide, inaltérable. Le teak a une durée trois fois plus grande que les meilleurs chênes ; il est susceptible de prendre un beau poli. On l'emploie beaucoup dans les constructions navales.

§ 4. — Densité des bois

16. La densité d'un bois est extrêmement variable ; elle dépend, pour une même espèce, de l'âge, de la provenance, de la quantité d'eau contenue dans ce bois ; elle peut varier

Digitized by Google

du simple au double. On trouvera dans le tableau ci-dessous la densité des bois secs (contenant environ 20 0/0 d'eau), d'après les recherches de M. Chevandier.

Pratiquement, pour évaluer la densité d'un bois avec une approximation relative, mais suffisante, on débite dans le bois un cube de petites dimensions, et on le fait flotter sur l'eau, après avoir préalablement bouché les cellules du bois avec de la cire. Le rapport de la hauteur immergée à la hauteur totale du cube donnera la densité de l'échantillon.

TABLEAU DONNANT LA DENSITÉ DES BOIS SÉCHÉS A L'AIR

Acacia vert	0,820	Ebène	1,200
— sec	0,717	Erable	0,674
Acajou 0,560 à	0,860	Frêne	0,697
Aulne	0,601	Gaïac	1,330
Bouleau	0,812	Hêtre	0,823
Buis	0,910	If	0,807
Chêne anglais	0,934	Mélèze	0,543
— pédonculé	0,808	Noyer brun	0,685
— rouvre	0,872	— vert	0,920
Charme	0,756	Orme vert	0,763
Cormier	0,644	— sec	0,723
Peuplier	0,477	Sapin	0,495
Pin rouge	0,657	— d'Ecosse	0,529
— sylvestre	0,550	Sycomore	0,590
Platane	0,648	Teak	0,860
Pitchpin	0,660	Tremble	0,602
Poirier	0,732	Tilleul	0,557
Pommier	0,734		

17. Densité des bois cordés.— D'après Marcus Bull, il existe dans un stère de bois cordé 56 0/0 de plein et 44 0/0 de vide. Un stère de bois pèserait, d'après M. Chevandier :

Bois de hêtre en quartiers	374 kgr.
— chêne	366 »
— bouleau	294 »

§ 5. — Défauts des bois

18. Il est facile de reconnaître les défauts d'un arbre, lorsqu'il est abattu et débité ; c est plus difficile pour un

Digitized by Google

arbre sur pied; cependant, on peut prévoir, à quelques signes extérieurs, si le bois est de bonne ou de mauvaise qualité.

Un bois également rond, d'une conicité uniforme, dont l'écorce est fine et homogène, est généralement bon. Au contraire, si l'écorce est terne, galeuse, si l'on aperçoit des écoulements de substances gommeuses à la naissance des branches, des champignons, etc., on peut être certain que le bois présente de nombreux défauts.

Ces défauts, que nous allons énumérer, sont de différentes natures; les uns existent lorsque l'arbre est sur pied, les autres prennent naissance quand il est abattu, ou deviennent plus sensibles lorsque le bois est plus sec. Les insectes n'attaquent les bois sur pied que lorsque l'arbre est sur le retour.

19. Pourriture. — Lorsqu'un arbre est abattu, les substances azotées qu'il renferme tendent à se décomposer rapidement. Il se produit sous l'influence de l'air une combustion lente du carbone, avec dégagement de produits ammoniacaux; le bois contracte une odeur nauséabonde : on dit qu'il est *échauffé;* puis, le phénomène s'accentuant, le bois perd sa cohésion, et se transforme en *humus*, poudre brunâtre.

La *pourriture sèche* est produite par un champignon microscopique qui se développe sous l'influence de l'humidité; le bois se transforme en une matière sèche et friable.

20. Grisettes. — La grisette est une pourriture qui se produit à l'aisselle des branches. On distingue : la *grisette à chair de poule*, qui est une moisissure parsemée de points de couleur blanchâtre; la *grisette à flammes*, qui se propage régulièrement en veines jaunes ou brunes; les flammes jaunes s'étendent, en général, sur une grande longueur; elles sont dangereuses.

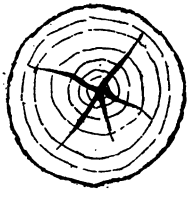


Fig. 3

21. Cadranure. — La cadranure est constituée par un certain nombre de fentes partant du centre de l'arbre et pouvant atteindre la circonférence (*fig.* 3). Elle se rencontre seule-

Digitized by Google

ment dans les arbres trop vieux. Le cœur du bois est altéré par suite de la dessiccation, et le retrait plus sensible pour les parties les plus vieilles ; souvent le cœur se pourrit. Ce défaut grave doit faire proscrire de la charpente tout arbre qui en est atteint.

22. Trou d'abatage. — Le trou d'abatage est un arrachement produit au moment de la chute de l'arbre, lorsque la partie centrale n'a pas été sciée ou coupée à la hache. Il n'altère pas la qualité du bois, mais oblige à ébouter la pièce.

23. Ulcère. — L'ulcère est une lésion pénétrant jusqu'au corps ligneux. Les agents atmosphériques ayant altéré les couches extérieures de l'aubier, il s'en écoule un liquide brunâtre ; l'arbre peut en mourir. Les ulcères peuvent être également produits par la fermentation de la sève accumulée en un certain point.

24. Carie. — La carie est une altération de la substance ligneuse ; elle se propage rapidement, par suite de l'action de l'air et de la pluie ; elle a souvent pour cause l'existence d'ulcères.

25. Nœuds. — Les nœuds sont quelquefois des parties très dures et très compactes du bois, recherchées en ébénisterie ; le plus souvent, ce sont des défauts. Les *nœuds noirs* sont peu dangereux. L'*œil de perdrix* est un point de couleur foncée qui se trouve au milieu d'un nœud; c'est l'indice d'une *huppe*, cavité remplie de bois pourri. Pour *purger* un nœud, il suffit d'enlever le mauvais bois et de le remplacer par un bouchon de bois dur, enduit de goudron et introduit à force.

26. Fentes. — Gerces. — Les *fentes* sont des fissures produites par la dessiccation; elles sont parallèles aux fibres et peu dangereuses quand elles ne sont pas développées. Les *gerces* sont des fentes perpendiculaires aux fibres, partant de la circonférence et se dirigeant vers le centre de l'arbre. Elles proviennent d'une dessiccation trop rapide et sont l'indice d'un bois peu résistant.

Digitized by Google

27. Roulure. — Lunure. — Double aubier. — Tous ces défauts semblent avoir pour origine la gelée. A la suite d'un hiver rigoureux, l'arbre étant en pleine végétation, le liber de l'année se désorganise. Lorsqu'on procède à l'abatage on aperçoit dans la section transversale de l'arbre une zone de couleur brune : c'est une roulure (*fig.* 4). La *gelure* est une roulure incomplète. La *lunure* se forme au centre de l'arbre : c'est une couche blanchâtre d'un tissu mou et spongieux.

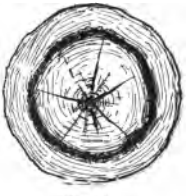


Fig. 4

Le *double aubier* se produit entre deux couches de bois parfait ; il a pour cause le passage des racines de l'arbre dans un terrain aride ; il est assez fréquent chez les sujets provenant d'un sol sec et maigre.

Ces défauts sont graves ; par suite de la dessiccation l'adhérence des couches, déjà faible, disparaît complètement ; les fentes circulaires s'ouvrent de plus en plus, et il devient difficile de débiter l'arbre.

28. Gélivures. — Frottures. — Fibres torses. — Les *gélivures* sont des fentes des gerçures causées par un froid rigoureux. Elles partent de la circonférence, se dirigent vers le centre de l'arbre qu'elles n'atteignent pas ordinairement, ce qui permet de les distinguer des fentes du cœur. Elles se produisent toujours du côté du couchant ou du sud-ouest (*fig.* 5).

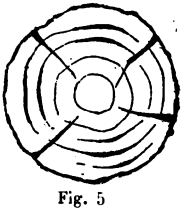


Fig. 5

La *frotture* est une plaie provenant d'un choc, ou d'une contusion ancienne ; l'aubier, par la suite, ne s'est pas transformé en bois parfait, ce qui produit un point faible, sujet à la pourriture.

Les *fibres torses* résultent de l'action d'un vent violent et continu sur un jeune arbre. C'est un défaut qui ne nuit pas à la solidité du bois, mais qui met un obstacle à son débitage.

Digitized by Google

29. Insectes destructeurs des bois. — Les bois conservés en magasin pour être utilisés pour la charpente, les bois mis en œuvre, même, sont attaqués par des insectes qui les rongent et amènent la vermoulure. Ce sont:

Le *grand capricorne* ou *cerf-volant*, qui produit dans le bois des trous assez profonds et d'un diamètre atteignant parfois 2 centimètres. Ces trous sont peu dangereux, et ne se rencontrent presque toujours que sur de vieux arbres.

La *vrillette* produit un bruit caractéristique dans son travail de destruction; le moindre choc l'arrête; elle détruit les bois tendres et s'attaque surtout aux boiseries de nos maisons.

Le *lymexylon* est un petit ver qui perce des trous perpendiculaires aux fibres du bois; il vit sur les arbres, dont il cause parfois la mort; on est obligé de recourir à l'immersion prolongée du bois attaqué pour faire périr sa larve.

Le *termite* est un insecte de petites dimensions, à ailes repliées sur le corps. Il exerce ses ravages dans l'Ouest de la France. Il s'attaque à tous les bois de construction, aux navires, aux charpentes des maisons qui sont complètement détruites sans qu'aucun signe extérieur puisse le faire soupçonner.

Le *taret* est un mollusque acéphale au corps allongé, comme celui d'un ver, terminé à l'une de ses extrémités par une masse portant deux coquilles rondes et renfermant la bouche; à l'autre extrémité par deux tubes servant l'un à la respiration, l'autre à l'expulsion des résidus de la digestion. Le taret s'introduit à l'état de larve dans les bois submergés dans l'eau de mer; quinze jours après, il est à l'état adulte, se creuse une galerie à l'aide des valves de sa coquille. L'animal se développe en grosseur au fur et à mesure de son avancement dans le bois.

Le taret ne peut vivre que dans le bois et dans l'eau de mer propre. Il périt dans l'eau douce ou dans l'eau saumâtre.

§ 6. — Indices de la bonne qualité des bois

30. L'indice extérieur de la bonne qualité des bois est constitué par l'absence de nœuds, de loupes, de champi-

Digitized by Google

gnons à la surface du tronc. On reconnaît la bonne qualité d'un bois coupé à la texture, qui doit être *homogène ;* à la *couleur :* le passage d'une teinte claire à une teinte foncée doit se faire graduellement.

La *sonorité* du bois est également un indice utile ; un bon bois sonne clair ; celui qui contient des gélivures rend un son sourd sous le marteau.

Les copeaux doivent avoir une *odeur* agréable, fraîche ; si le bois répand une odeur nauséabonde, on peut en augurer un commencement de fermentation : il est *échauffé.*

Les fibres du bois doivent être droites ; l'absence de nœuds, la régularité des couches, la ténacité des copeaux sont autant d'indices qu'il faut apprécier. Au contraire, des couches annuelles d'une trop grande épaisseur indiquent une croissance trop rapide et une densité trop faible ; la décomposition de ces couches s'opérera généralement très vite.

Lorsqu'on procède à la réception de bois, il faut avoir soin de faire rafraîchir les abouts des pièces ; il est alors facile d'apprécier la couleur, l'odeur, la souplesse et le liant des copeaux.

L'usage suivant est quelquefois mis en pratique : on mouille la surface du bois après l'avoir raboté ; si l'eau ne pénètre pas, le bois est considéré comme bon.

Les défauts apparents ont une importance variable suivant l'usage que l'on veut faire des pièces de bois ; ainsi, il est souvent facile de purger les nœuds ; les gélivures, si elles ne s'étendent pas profondément, ne nuisent pas beaucoup à la solidité du bois.

En général, pour les bois de charpente, il est prudent de refuser toute pièce qui n'est pas absolument saine, abattue en bonne saison au moins trois ans avant la mise en œuvre.

Les bois provenant de terrains d'alluvion doivent être absolument rejetés.

Digitized by Google

CHAPITRE II

PRÉPARATION DES BOIS

§ 1. — Abatage

31. Procédés d'abatage. — On emploie deux procédés principaux :

1° La *coupe à blanc*, qui consiste à faire, à la base de la tige, et du côté où l'on veut faire tomber l'arbre, une entaille pénétrant à peu près jusqu'au centre du tronc ; du côté opposé on en fait une seconde, qu'on approfondit jusqu'à ce que l'arbre tombe.

On se sert de la cognée pour commencer l'entaille, et on achève l'opération avec la scie et des coins.

Il faut éviter de creuser le sol autour de la souche, afin qu'elle ne pourrisse pas par l'action de l'air et de l'humidité, et il importe de bien diriger la chute de l'arbre, afin d'éviter d'endommager les sujets environnants.

2° La *coupe en pivotant* s'opère en creusant le sol au pied de l'arbre pour dégager le pivot ; on coupe successivement toutes les racines qui fixent l'arbre ; celui-ci finit par tomber. L'opération est beaucoup plus longue que dans le premier cas ; de plus, on détruit la souche, mais on obtient ainsi le tronc tout entier.

On se sert aujourd'hui, pour abattre les arbres, de la poudre et de la dynamite. On construit également des scies

Digitized by Google

pour l'abatage qui permettent de couper l'arbre très près du collet (*fig.* 6); ces scies opèrent très vite, évitent les déchets et se transportent facilement. Elles sont très économiques.

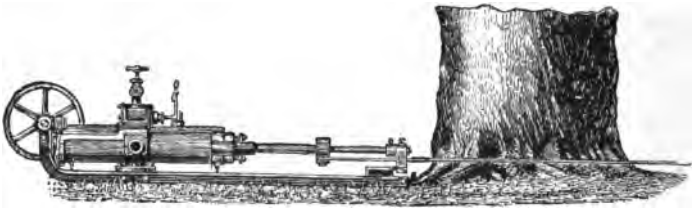


Fig. 6

32. Époques d'abatage. — Il est préférable d'abattre les arbres en hiver, alors que la végétation est presque nulle, et presque nulle aussi la circulation de la sève ; on favorise donc par ce moyen la conservation ultérieure du bois.

On peut admettre que l'âge du bois à charbon est de quinze à vingt ans; vingt-cinq à trente ans, celui du bois à brûler, et quatre-vingts ans et plus celui du bois d'œuvre.

§ 2. — Mesurage des bois

33. Pour **cuber un arbre sur pied**, on en prend la circonférence à $1^m,50$ environ au-dessus du sol, puis à l'extrémité de la partie haute ; on fait la moyenne des deux, et on en déduit le rayon du cercle moyen. On multiplie la surface de ce cercle par la hauteur de l'arbre, et on obtient le cube.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	3
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	4
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	5
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	6
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	7
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	8
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	10

Fig. 7

Lorsqu'on veut avoir approximativement la circonférence

Digitized by Google

moyenne d'un arbre sur pied, sans se donner la peine d'en faire l'escalade, on se contente de déduire de la circonférence de base : le 1/15 pour les arbres de 6 mètres de hauteur ; le 1/12, ou le 1/10, ou le 1/8, ou le 1/6, selon que l'arbre a 8, ou 10, ou 12, ou 16 mètres de hauteur.

La hauteur d'un arbre s'obtient à l'aide d'une ficelle qu'on laisse tomber à la manière d'un fil à plomb, ou bien à l'aide d'un instrument spécial très simple, composé d'une planchette graduée devant laquelle se déplace un fil à plomb ; on obtient la hauteur par visée (*dendromètre*) (*fig.* 7). La pratique permet d'ailleurs de s'en dispenser.

Les **bois en grume** se cubent de différentes façons; il faut tenir compte, en effet, que les billes contiennent de l'écorce et de l'aubier inutilisés en charpente. Aussi, pour évaluer ces déchets, emploie-t-on les méthodes suivantes :

1° *Equarrissage au* 1/4 *sans déduction.* — Il consiste à prendre la moyenne des deux circonférences extrêmes de la pièce, et à prendre le 1/4 comme côté du carré inscrit dans la pièce ;

2° *Equarrissage au* 1/5 *déduit.* — De la moyenne des deux circonférences extrêmes, on déduit le 1/5 de cette circonférence, et on prend le 1/4 comme côté du carré inscrit ;

3° *Equarrissage au* 1/6 *déduit.* — C'est le plus généralement employé. On déduit de la moyenne des deux circonférences extrêmes, ou mieux encore de la circonférence prise au milieu de la bille, le 1/6 de cette circonférence. Le 1/4 du reste donne le côté du carré inscrit. En multipliant ce côté par lui-même, puis par la longueur de la bille on en obtient le cube ;

4° Le *cubage au* 1/10 *déduit* procède de la même façon, en retranchant le 1/10 de la circonférence moyenne, puis prenant le 1/4 du reste comme côté d'équarrissage. C'est le mesurage adopté par l'octroi de Paris.

Les volumes obtenus par ces méthodes représentent les 0,785, 0,502, 0,545 et 0,636 du bois brut obtenu en prenant la section moyenne de la pièce et la multipliant par sa longueur.

Les bois équarris à vives arêtes se mesurent au cube réel, sans aucune difficulté. Lorsque les pièces ne sont pas équar-

Digitized by Google

ries à vives arêtes, et qu'elles présentent des inégalités, des flâches, il faut en tenir compte.

A Paris, les pièces arrivent par équarrissages variant de $0^m,03$ en $0^m,03$, et en longueurs variant de $0^m,25$ en $0^m,25$. On prend pour dimensions réelles des bois les dimensions représentant : pour l'équarrissage, le plus grand multiple de $0^m,03$ contenu dans la section, et pour la longueur, le plus grand multiple de $0^m,25$ contenu dans la pièce. C'est le cubage par *pieds et pouces pleins.*

Dans certaines régions, on emploie encore la méthode de la ficelle, qui consiste à mesurer le périmètre de la pièce et à en prendre le 1/4. On admet pour équarrissage le nombre ainsi obtenu diminué de $0^m,02$ ou $0^m,03$.

§ 3. — Bois du commerce

34. On divise les bois en trois groupes :

1° **Les bois en grume.** — Ce sont les bois qui conservent leur écorce et sont vendus tels quels. Cependant, on range encore dans cette catégorie le bois dépourvu d'écorce (*pelard*), les pieux pour pilotis ;

2° **Les bois de fente,** comprenant les bois préparés en forêt, avec certaines espèces particulières d'arbres : chêne rouvre, peuplier, châtaignier, etc. Les merrains employés à la confection des tonneaux, les lattes, les échalas, les manches d'outils, les rais des roues en sont les principaux produits. En particulier, les planchers de luxe sont composés de feuillets de bois fendus débités sur mailles. Les arbres sont fendus suivant des lignes diamétrales ; puis, on enlève le cœur et l'aubier. Il faut des bois exempts de nœuds et tous autres défauts. Les merrains sont débités au couteau ou à la scie ; dans ce dernier cas, on doit faire attention à ne pas couper le fil du bois ;

3° **Les bois de sciage,** qui sont le plus communément employés dans l'industrie. Les scieries mécaniques sont établies

Digitized by Google

à proximité des lieux d'abatage, afin d'éviter les transports souvent difficiles et toujours coûteux.

§ 4. — Débitage des bois

35. Débiter un bois, c'est chercher à diviser sa section en un certain nombre de pièces régulières de dimensions moindres, de manière à tirer le meilleur parti possible du bois dur.

Règle générale : le meilleur débit d'un bois, au point de vue de la durée des produits et de leur rigidité, est, sans contredit, le débit sur mailles. Une planche débitée normalement aux rayons médullaires est toujours sujette à se voiler et à se fendre ; par contre, celle qui est sciée parallèlement à cette direction se comporte mieux.

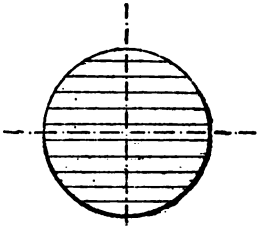


Fig. 8

Lorsqu'un arbre est soumis à la dessiccation, c'est toujours suivant les mailles que les fentes se produisent ; il est donc naturel de prendre ces mailles comme lignes de débit, ou, du moins, de chercher à s'en rapprocher le plus possible.

Si l'on veut débiter un arbre en planches ou en plateaux, on devra procéder comme l'indique la figure 8. Si l'arbre est encore vert, le retrait se produira surtout sur les bords, et il ne se produira pas de fentes. L'inconvénient de cette méthode réside dans l'inégalité de longueur des produits obtenus.

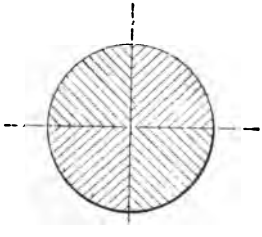


Fig. 9

Duhamel-Dumonceau a fait de nombreuses expériences sur la contraction des bois débités ; elles peuvent se résumer en ce fait important : ce sont les pièces

Digitized by Google

qui contiennent le cœur de l'arbre qui sont le plus exposées à se fendre.

La méthode hollandaise évite de tomber dans ce défaut; elle donne des planches à peu près parallèles aux mailles, mais inégales (*fig.* 9).

Le plus souvent, le cœur de l'arbre est plus ou moins altéré; aussi doit-il être éliminé pour la confection de belles planches, c'est ce qu'on fait dans la méthode hollandaise.

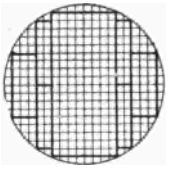


Fig. 10

Pour obtenir le plus grand nombre de planches égales contenues dans une section donnée, on procède par quadrillages (*fig.* 10); facilitant l'examen.

Lorsqu'on a besoin de pièces de plus grandes dimensions, de madriers, on peut opérer comme il suit : on enlève l'équarrissage de la bille ; puis, on débite dans le sens de laplus grande dimension deux larges pièces (*déballe*), et, enfin, le talon. Le reste est débité en madriers ou en planches (*fig.* 11).

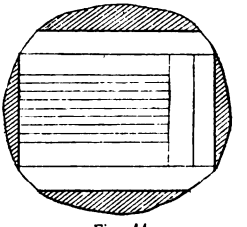


Fig. 11

On peut évidemment imaginer bien d'autres modes de débit; chaque bille est un cas particulier, et c'est au charpentier de décider quelle est la méthode qui donnera les résultats les plus avantageux.

36. Équarrissement. — L'équarrissement est l'opération qui consiste à trouver le plus grand parallélipipède rectangle contenu dans une bille donnée, de façon à n'admettre que du bois dur. Dans les pièces de charpente, en effet, l'aubier doit être impitoyablement proscrit.

Selon que l'on veut obtenir le cube maximum de bois contenu dans la pièce, ou la section qui donne la plus grande résistance, on inscrira dans la section un carré ou un rectangle obtenu de la façon suivante :

On prend sur le diamètre AB le point C situé au tiers de la longueur, et on élève CD perpendiculaire à AB. On joint A et

Digitized by Google

D, et on mène la droite BE parallèle à AD. On termine le rectangle en traçant les lignes AE, BD (*fig.* 12).

Le moment d'inertie de la section ainsi obtenue est supérieur de 1/9 à celui du carré inscrit. Cette manière d'opérer donne l'*équarrissage normal.*

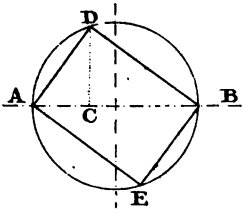


Fig. 12

L'équarrissement d'une pièce s'effectue de la manière suivante : La bille étant placée sur chantiers et soigneusement calée, on inscrit dans la plus petite section le carré maximum, par exemple. On cherche le centre de la plus grande section ; puis, à l'aide de deux règles, dont l'une, placée dans la plus petite section, est maintenue parallèle à l'un des côtés du carré, et dont l'autre, mobile dans l'autre section extrême, est amenée dans une direction parallèle à la première, on trace successivement les quatre côtés d'un carré égal au premier. On bat ensuite le cordeau et on scie deux dosses parallèles; puis, on donne quartier à la bille, on bat le cordeau une seconde fois, et on enlève les deux dosses restantes.

37. Dimensions des bois équarris du commerce.

CHÊNE

	Épaisseur.	Largeur.	Longueur.
Battants.....	0m,108	0m,33	3m et au dessus
Petits battants.	0 075	0 23	3 »
Gros —	0 110	0 32	3 »
Membrures....	0 081	0 16	2 à 4 mètres
Chevrons.....	0 081	0 08	2 à 3 »
Doublettes....	0 055	0 33	2 à 4 »
Echantillons...	0 035	0 24	2 à 4 »
Entrevous.....	0 027	0 24	2 à 4 »
Feuillets.....	0 022	0 23	2 à 4 »
—	0 013	0 23	2 à 4 »
Panneaux	0 020	0 21	2 à 4 »
—	0 022	0 24	2 à 4 »
Voliges.....	0 013	0 22	2 à 4 »
—	0 015	0 243	2 à 4 »

Digitized by Google

SAPIN DU NORD

Les longueurs des pièces varient de 0m,33 en 0m,33 à partir de 2 mètres.

	Epaisseur.	Largeur.
Madriers	0m,080	0m,220
—	0 060	0 170
Poutres	0 300	0 400
—	0 240	0 300
Poutrelles carrées	0 140	0 140
—	0 240	0 240
Feuillets dits 5 traits	0 010	0 220
— 4 —	0 014	0 220
— 3 —	0 018	0 220
Planches dites 2 traits	0 027	0 220
— 1 trait	0 034	0 220
— —	0 041	0 220
— —	0 054	0 220
Chevrons	0 080	0 080
Bastings rouges	0 064	0 180
— blancs	0 064	0 165
Frises	0 025	0 080
—	0 025	0 110

PEUPLIER OU GRISARD

Feuillets	0m,013	0m,19 à 0m,25
Voliges Champagne	0 013	0 16 à 0 25
— Bourgogne	0 023	0 22 à 0 25
Planches	0 030	0 22 à 0 25
Quartelots	0 060	0 22 à 0 25
Madrier	0 050	0 33

HÊTRE

Entrevous	0m,031	0m,216
Membrures	0 080	0 165
—	0 110	0 200
Doublettes	0 075	0 330
Quartelots	0 056	0 236

Le noyer et le hêtre se débitent aussi couramment en panneaux de 0m,01 d'épaisseur, en feuillets de 0m,02, en planches de 0m,025, et en madriers de 0m,05, 0m,07, 0m,08, 0m,120 d'épaisseur.

Digitized by Google

PITCHPIN

	Épaisseur.	Largeur.
Madriers	0m,104	0m,230
Plateaux de	0 100	0 260
à	0 120	0 560
Poutres de	0 260	0 260
à	0 560	0 560

Les plateaux et les poutres se livrent en longueurs de 10 à 20 mètres.

Les échantillons courants employés dans le commerce sont :

	Épaisseur.	Largeur.	Longueur.
Les planches...	0m,027	0m,31 à 0m,32	3m,63 à 3m,96
— ...	0 030	—	—
Les madriers...	0 054	—	—

Les bois de charpente n'ont pas de dimensions régulières; l'équarrissage varie avec la grosseur de l'arbre. En général, on adopte à Paris ce classement. On appelle :

	Pièces variant de			
Chêne ordinaire....	0m,10 à 0m,30	d'équarrissage et de	2 à 10	de long.
Petit arrimage... .	0 31 à 0 40	—	4 à 12	—
Gros —	0 41 à 0 60	—	4 à 12	—
Sapin ordinaire....	0 18 à 0 24			
Poutrelles.....	0 25 à 0 36			
Gros bois.....	0 37 à 0 60	jusqu'à	30 mètres	

§ 5. — Dessiccation du bois

38. Les bois verts contiennent de 35 à 40 0/0 d'eau; la proportion en est toutefois très variable: elle est moindre quand la circulation de la sève se ralentit, à l'entrée de l'hiver; elle varie également avec la porosité du bois; le peuplier en absorbe beaucoup, le chêne et le charme en contiennent relativement beaucoup moins.

Pour éliminer l'eau contenue dans le bois, le moyen le plus simple est de l'exposer à l'air libre : l'eau s'élimine d'autant plus lentement que l'arbre contient plus de sève; la présence de l'écorce est aussi un obstacle au séchage.

Digitized by Google

Des expériences faites sur des bois de petit équarrissage ont prouvé que le premier quart de l'eau contenue disparaissait au bout de onze jours; le deuxième, après deux mois; le troisième, au bout de onze mois; et le reste, au bout de sept ans. La dessiccation marche proportionnellement aux surfaces libres en contact avec l'air, elle varie en raison inverse de la densité des bois.

39. Flottage. — On emploie le flottage comme moyen préparatoire du séchage des bois. Il consiste à laisser dans l'eau pendant un temps plus ou moins long les bois fraîchement abattus; l'eau prend la place de la sève; en exposant ensuite à l'air les bois flottés, on obtient une dessiccation rapide; de plus, le bois se conserve bien. Ce procédé est donc excellent.

Il est bon de ne pas laisser les bois plus de trois mois dans l'eau. La sève se dissout plus facilement dans l'eau douce que dans l'eau salée; l'eau douce, à la longue, affaiblit beaucoup la résistance du bois; l'eau salée, au contraire, arrête le développement de la pourriture sèche. Pour les bois résineux, une courte immersion favorise la conservation de la résine et n'altère pas le bois; un long séjour dans l'eau amène le ramollissement de l'aubier. Ces bois sèchent ensuite plus lentement que les bois durs, et le retrait qu'ils prennent, lorsqu'on les expose à l'air, est considérable.

L'emploi de l'eau chaude permet de réduire beaucoup la durée du flottage; dix jours suffisent pour une opération.

40. Séchage à l'air. — Piles. — Hangars. — Primitivement, on empilait les bois à proximité des lieux d'abatage, et on les couvrait simplement d'enlevures. Ce procédé n'est pas bon, le bois n'est pas protégé, et est vite attaqué.

Au lieu d'empiler les bois d'une façon quelconque, il vaut mieux aménager sur un terrain peu élevé une aire asphaltée sur laquelle on viendra faire reposer les pièces sur des tasseaux bien secs. On a également soin de séparer les plans successifs par des tasseaux bien secs, afin de bien isoler les pièces et de favoriser la circulation de l'air. On recouvre le

Digitized by Google

tout d'une toiture mobile pour éviter la pluie. Cette toiture doit être assez élevée ; sinon, la chaleur devenant excessivement forte, en été, il se développerait des fentes considérables dans les pièces de bois.

Le meilleur procédé de séchage et de conservation des bois est le séchage sous hangars ; c'est, d'ailleurs, le seul employé pour les bois de prix. Le système de construction des hangars varie selon les climats. Dans le Nord, on doit pouvoir établir une ventilation très développée lorsque le temps est sec. Dans le Midi, au contraire, les hangars doivent être construits en maçonnerie, afin d'éviter l'action directe des rayons solaires : il faut ventiler modérément pour ne pas avoir une dessiccation trop rapide qui occasionnerait la formation de fentes.

Les insectes, et, en particulier, le lymexylon, s'introduisent facilement sous les hangars ; pour mettre le bois à l'abri de leurs attaques, il est bon de procéder à une immersion préalable des pièces, ou, en tout cas, de ventiler fortement de temps en temps.

L'inconvénient des hangars réside dans la difficulté de manœuvrage des pièces ; ce sont les plateaux les plus élevés, le plus récemment mis à l'abri, que l'on prend de préférence ; il est donc nécessaire d'établir un roulement pour obvier à cette inconséquence.

41. Séchage à l'air chaud. — Fumage. — On dessèche également les bois à l'aide d'un courant d'air chaud. Les bois sont placés dans une étuve où l'on fait arriver l'air chaud d'un calorifère ; on règle l'intensité du tirage à l'aide de ventilateurs qui sont disposés aux deux extrémités de l'étuve, afin de permettre de changer la direction du courant d'air chaud.

La température de l'étuve varie de 25 à 30° ; les bois y restent de trois à six mois ; on a soin, de temps en temps, de déplacer les pièces de bois.

Ce procédé est excellent : la dessiccation du bois sortant de l'étuve est parfaite, et la déformation des pièces presque nulle. La couleur du bois n'est pas altérée, ce qui est souvent

Digitized by Google

un précieux avantage. Il faut remarquer, toutefois, qu'on ne doit pas élever la température de l'étuve au-delà de 50°, sous peine d'altérer considérablement la résistance des fibres, et de rendre le bois cassant.

Les bois de menuiserie sont, avant leur emploi, fumés et flambés. Le fumage se fait dans une étuve où l'on maintient pendant plusieurs jours une température variant de 50 à 60°, à l'aide de foyers entretenus avec de la sciure et des déchets de machines-outils. La fumée est introduite dans l'étuve à l'aide de larges ouvertures ; elle doit avoir une circulation continue pour pouvoir entraîner avec elle l'humidité du bois.

La fumée a une action préservatrice marquée sur les produits mis en œuvre ; elle renferme, en effet, des produits créosotés et pyroligneux dont les propriétés antiseptiques sont depuis longtemps reconnues.

Le fumage est employé dans les grandes Compagnies de chemins de fer pour les bois destinés à la construction des voitures ; on procède ensuite à un flambage que nous décrirons plus loin.

§ 6. — Conservation des bois

42. Les bois mis en œuvre se détruisent au bout d'un temps plus ou moins long, qui dépend des variations atmosphériques auxquelles ils sont soumis. Les bois de charpente sont sujets aux attaques des insectes et à la pourriture provenant de la fermentation de la sève qu'ils peuvent encore contenir. Lorsque les pièces sont convenablement abritées, bien aérées, et préservées de l'humidité, les bois se conservent pour ainsi dire indéfiniment ; tels sont ceux qui sont employés dans les combles.

Les bois exposés à toutes les intempéries durent peu ; cela s'explique par la production de fentes nombreuses favorisant la pourriture ; les bois de meilleure qualité ne résistent pas longtemps ; les traverses de chemins de fer en chêne ne durent, en France, que quatorze ans, en moyenne.

Les bois résineux, bien que moins exposés que le chêne à la pourriture sèche, grâce aux matières résineuses qu'ils ren-

Digitized by Google

ferment, se dessèchent cependant après une longue exposition à l'air et diminuent de résistance. Les traverses en sapin des chemins de fer français ne durent que sept ou huit ans, en moyenne.

Le climat influe également sur la conservation des bois plus on se rapproche de l'Equateur, plus la durée des bois est courte ; au chemin de fer de Panama, on a employé le bois de gaïac pour faire des traverses, les autres bois pourrissant trop vite sous le climat tropical, à la fois très humide et très chaud.

Les bois résineux employés dans l'eau douce ou dans l'eau de mer se conservent longtemps, mais finissent par se ramollir ; en mer ils sont souvent attaqués par les tarets. Les bois employés comme pilotis résistent de façons très différentes à la destruction. Cela dépend des terrains dans lesquels ils sont fichés : les tourbes sulfureuses les altèrent rapidement, ainsi que tout contact avec des matières organiques. Les pièces de charpente placées dans le voisinage des machines se détériorent vite : elles sont constamment exposées à la chaleur et à l'humidité ; le contact des ferrures attaquées par la rouille accélère également la pourriture du bois.

Afin de pallier à ces inconvénients multiples, on a cherché différents procédés pour conserver les bois. L'arbre étant sur pied, plus il contiendra de sève, moins il se conservera ; on a donc choisi l'hiver comme époque d'abatage ; puis, on a procédé à un flottage ayant pour but d'éliminer la sève.

Les piles, hangars employés pour le séchage des bois servent également pour sa conservation. Sur les côtes, les bois employés dans les constructions navales sont conservés dans l'eau de mer, et, pour éviter l'attaque des tarets, dans des espaces fermés, où l'on entretient la salure à un degré convenable, à l'aide d'arrivages d'eau douce, dont une des propriétés, ainsi qu'il a été dit, est de détruire les tarets. Quelquefois encore, on plonge les bois dans du sable approprié, qui entretient l'humidité nécessaire, ou on le dispose sur des plages qui découvrent par la marée.

L'exposition des bois à la vapeur d'eau favorise leur conservation ; les luthiers ont recours à ce procédé pour les bois destinés à la confection des tables d'instruments à corde.

Digitized by Google

43. Enduits extérieurs. — Flambage. — Goudronnage. — Peinture. — Pour soustraire les bois à l'action des intempéries, le procédé le plus simple consiste à revêtir la surface d'un enduit plus ou moins imperméable. Pour les pieux, poteaux enfouis dans le sol, on se contente du flambage. Dans les chantiers de constructions navales, on recouvre souvent les bois d'une solution bouillante de potasse caustique; puis, lorsque le bois est sec, c'est-à-dire environ douze heures après, on ajoute une couche de pyrolignite de fer ou de plomb. On se sert aussi du sublimé corrosif en dissolution dans l'eau, à raison de 2 kilogrammes de sublimé par hectolitre d'eau. La surface du bois est bien protégée, mais l'intérieur se pourrit quand même à la longue.

Le *flambage* est la torréfaction superficielle du bois; cette carbonisation rend la surface du bois plus compacte, moins perméable; elle imprègne le bois de produits créosotés propres à sa conservation ; elle fait disparaître les ferments organisés qui peuvent se trouver à la surface. Le flambage, appliqué de tout temps sur l'extrémité des pieux servant à la confection des palissades, a été préconisé par M. de Lapparent, qui l'a fait appliquer aux coques de navires. Pour opérer sur de très grandes surfaces, on a construit un chalumeau spécial de très grandes dimensions (Hugon). On flambe aujourd'hui les extrémités des poteaux télégraphiques, les traverses de chemins de fer. Les bois de menuiserie, préalablement fumés, subissent un flambage ; on carbonise la surface des assemblages, tenons, mortaises, bois de bout, à l'aide d'un chalumeau composé d'un soufflet à jet continu et d'une lampe portative de forme spéciale (système Lapparent fils), après les avoir recouverts d'un mélange inflammable composé de 60 0/0 de goudron et 40 0/0 d'huile lourde.

Pour les pièces de grandes dimensions, on a recours à un foyer à coke; les bois étant placés au centre, l'ouvrier les promène dans tous les sens, jusqu'à ce que le flambage soit complet. Les bois sont ensuite brossés. Le prix de revient des deux opérations, fumage et flamblage, est d'environ 3 francs par stère, sur les réseaux de chemins de fer français.

Pour enduire les pièces de *goudron* ou de *peinture*, il faut préalablement les dessécher d'une façon complète, car

Digitized by Google

l'humidité intérieure les ferait pourrir, malgré la présence de l'enduit, qui ne les préserve que de l'humidité du sol. On doit choisir un temps bien sec pour procéder au goudronnage ; les bois doivent présenter une surface bien nette. La première couche de goudron est appliquée bouillante ; la consistance du goudron employé doit être assez épaisse, pour qu'il couvre bien le bois. Le flambage préalable doit être effectué, si c'est possible.

On emploie aussi le *coaltar*, ou goudron minéral, provenant de la distillation de la houille ; il s'étend également bouillant, avec une brosse, sur la surface à recouvrir légèrement chauffée ; on accélère la dessiccation du goudron, qui reste très longtemps liquide, en le mélangeant avec 5 à 10 0/0 de chaux ou de ciment, qu'on ajoute au moment de l'emploi.

Peinture des bois. — Extrait des devis du Ministère des Travaux publics. — ... « Les bois recevront trois couches de peinture. La première couche sera appliquée bouillante sur les bois, qui devront être très propres et avoir été exposés à l'air sous des hangars, pendant un temps suffisant pour que l'humidité intérieure soit rejetée au dehors. Après l'application de la première couche, avant de mettre la deuxième, on aura soin de remplir exactement jusqu'au fond, avec du mastic, les trous, fentes et gerçures qui paraîtront à la surface des bois. »

Depuis quelque temps on préconise l'emploi de la peinture à base d'amiante ; elle ne coûte pas plus cher que les autres, a les mêmes qualités, et possède l'avantage de garantir les bois contre les chances d'incendie ; il lui manque, toutefois, la consécration de l'expérience.

§ 7. — Injection des bois

44. La matière azotée contenue dans le bois étant la cause première de son altération, on a tout naturellement été amené à rechercher des substances susceptibles de rendre ces matières imputrescibles, pour en imprégner la substance du bois. Tous les antiseptiques sont bons ; aussi les produits employés sont-ils nombreux. On a remarqué que les bois qui constituent les aires à mortier, et qui absorbent une cer-

Digitized by Google

taine quantité de chaux, se conservaient bien ; une dissolution dans un lait de chaux est donc à conseiller.

Sel marin. — On a utilisé, en Russie, le sel marin en dissolution concentrée ; il a l'inconvénient de retenir une certaine humidité dans le bois ; de plus, il ne faut pas soumettre les pièces imprégnées au contact de l'eau, qui redissoudrait le sel.

Bichlorure de mercure. — Ce bichlorure est très employé en Angleterre et en Allemagne ; il produit d'assez bons résultats, mais son emploi est dangereux, et son prix élevé. Les traverses sont immergées à froid dans un bain de sublimé au titre de 1/150 ; on les y laisse pendant dix jours. Prix approximatif, 1 fr. 50 par mètre cube.

Chlorure de zinc. — Il est également très efficace ; il coûte moins cher que le bichlorure de mercure et se manipule très facilement ; mais ce sel est hygrométrique. En Allemagne, on l'emploie surtout à la conservation des traverses de hêtre ; l'immersion se fait à une température de 85° environ.

Sulfate de cuivre. — Le sulfate de cuivre est très employé aujourd'hui à cause de son prix peu élevé ; il a l'avantage de rendre le bois moins combustible.

Primitivement, on l'employait en immergeant les traverses de chêne dans un bain de sulfate de cuivre qui ne pénétrait pas au-delà de l'aubier ; on prolongeait l'immersion pendant vingt jours. Ce procédé étant peu pratique, M. Boucherie en a indiqué, depuis longtemps, un autre plus perfectionné et donnant d'assez bons résultats.

45. Procédé Boucherie. — Le titre de la dissolution employée est de 1/67 (15 kilogrammes par mètre cube). La cuve contenant la dissolution est placée à 10 mètres au-dessus du sol, ce qui donne au liquide une pression de 1 kilogramme environ par centimètre carré. La dissolution est amenée par un tuyau de plomb qui se bifurque en deux parties alimentant des tubes de caoutchouc chargés de répartir la dissolution dans les pièces. On prend l'arbre sur lequel on veut opérer, et on fait un trait de scie au milieu ; les deux extrémités de l'arbre sont ensuite posées sur cales

Digitized by Google

(*fig.* 13) ; on en force une troisième au milieu qui agrandit la fente ; une cordelette en filasse, renflée à la partie centrale et amincie aux parties extrêmes, est engagée dans la fente pour fermer l'ouverture ; on abaisse ensuite la cale du milieu pour compléter la fermeture, et on établit la communication avec le réservoir supérieur. Dès le début, la sève apparaît aux extrémités de la pièce ; au bout d'une heure, le sulfate apparaît mélangé à la sève, puis domine bientôt ; le liquide s'écoule dans deux rigoles placées latéralement.

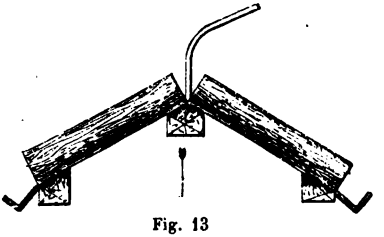


Fig. 13

On s'assure que l'opération est terminée avec une dissolution de ferrocyanure de potassium à 90 grammes par litre. On coupe l'extrémité du bois ; il faut obtenir une coloration rouge ; si elle est rose, l'opération n'est pas finie.

Pour que l'injection se fasse dans de bonnes conditions, il faut des bois sains, sans traces de pourriture, gélivure ou roulure, qui empêcheraient l'égale répartition de la dissolution. Afin d'éviter la coagulation de l'albumine contenue dans le bois, et pour parer à l'immobilisation du liquide en certains points, il faut avoir soin de rafraîchir les extrémités des pièces au moment de la mise en préparation ; il faut également éviter de laisser les bois au soleil pendant les grandes chaleurs.

La durée de l'opération varie de quarante-huit à soixante heures pour le charme, le hêtre, le bouleau, le platane et le sycomore de dimensions moyennes ; le chêne, l'orme, le peuplier, le pin, l'acacia demandent cinq à huit jours de préparation ; le prix moyen de revient est de 15 francs par mètre cube.

L'injection des bois au sulfate de cuivre est inefficace au point de vue de leur conservation dans l'eau de mer.

Les traverses ainsi préparées s'altèrent rapidement au contact du fer des vis, tirefonds employés à la pose des rails ;

Digitized by Google

leur durée est très inégale, et le bois ne supporte pas les assemblages.

46. Procédé Légé et Fleury. — MM. Légé et Fleury ont imaginé un procédé plus économique, et qui donne de meilleurs résultats que le précédent; la préparation ne revient qu'à 8 francs le mètre cube de bois injecté; il permet de se servir de bois équarris, ce qui évite une perte de près de 1/4 du bois préparé; il supprime aussi la difficulté du sciage à la suite du sulfatage; enfin, le temps écoulé entre l'abatage et la mise en préparation est sans influence sur la réussite de l'opération, et le bois est mieux imprégné.

L'installation se compose d'un cylindre en tôle de cuivre de 12 mètres de longueur, $1^m,60$ de diamètre et $0^m,01$ d'épaisseur, dont un fond est fixe et l'autre mobile; ce cylindre contient deux rails en bronze sur lesquels viennent rouler les chariots recevant les bois à préparer; les essieux, les roues de ce chariot sont également en bronze. Après avoir introduit les chariots chargés de bois, et fixé le fond mobile du cylindre, on fait passer un courant de vapeur qui dilate les pores du bois et entraîne avec lui une partie des liquides du tissu ligneux; puis, on fait arriver un courant d'eau froide qu'on évacue aussitôt à l'aide de pompes; on fait le vide dans le cylindre à $0^m,10$ de mercure pendant un quart d'heure. Le sulfate de cuivre est alors introduit à une température variant de 45 à 75°; on remplit complètement le cylindre à l'aide d'une pompe foulante, et on maintient la pression de 10 atmosphères pendant deux heures. On évacue ensuite le liquide. La durée de l'opération est de deux heures et demie environ.

Quel que soit le procédé employé, la pénétration du sulfate est toujours très inégale, selon l'essence et l'homogénéité des bois; le cœur n'est jamais complètement injecté.

47. Créosotage. — Jusqu'à présent, c'est la créosote qui protège le bois de la façon la plus efficace; elle a l'avantage de ne pas altérer la flexibilité du bois et de ne pas diminuer sa résistance; les pièces préparées par ce procédé se travaillent bien et se conservent bien dans l'eau de mer, à la

Digitized by Google

condition d'être suffisamment imprégnées. La créosote a l'inconvénient d'augmenter l'inflammabilité du bois et de lui donner une odeur persistante.

La créosote employée est impure ; on l'extrait du goudron de houille dans la proportion de 30 à 40 0/0 de créosote pour 100 kilogrammes de goudron employé.

En Angleterre, le procédé le plus généralement employé pour le créosotage des traverses est le suivant : les pièces de bois sont introduites dans un grand cylindre en fonte dans lequel on a établi un courant de vapeur. La sève, par suite du ramollissement produit, s'échappe facilement et est entraînée au dehors. On laisse la vapeur se condenser; puis, on augmente le vide produit à l'aide de pompes. On établit ensuite la communication entre le cylindre et un réservoir de créosote maintenue à une température de 90° Farhenheit; le liquide s'introduit naturellement, par suite de la différence de pression ; on le refoule ensuite au moyen de pompes jusqu'à ce qu'on atteigne une pression de 10 atmosphères. On laisse le bois dans cet état pendant trois heures environ. La durée totale de l'opération est de huit heures. Souvent, on ne fait pas le vide dans le cylindre ; la pression finale étant plus faible, on laisse les pièces séjourner plus longtemps dans l'appareil, huit heures environ.

Procédé Forestier. — M. Forestier a renoncé au chauffage direct à la vapeur d'eau, qui nuit à la pénétration de la créosote. Il dispose les bois soumis à l'opération dans une étuve dont la température est obtenue à l'aide d'un serpentin de vapeur.

Il fait le vide dans l'appareil à l'aide d'une pompe à air et comprime ensuite la créosote à 10 atmosphères. Les bois absorbent ainsi jusqu'à 300 kilogrammes de créosote par mètre cube ; l'opération revient à 34 francs par mètre cube ; pour les traverses de chemins de fer, 150 kilogrammes de créosote suffisent.

Le créosotage appliqué aux bois résineux a prouvé que le cœur du bois s'injecte peu.

Digitized by Google

CHAPITRE III

ASSEMBLAGES DES BOIS. — MACHINES-OUTILS

---

§ 1. — Assemblages en bois de fil. — Assemblages en bois d'about. — Assemblages en bois de travers. — Embrèvements. — Assemblages d'angle. — Moises.

48. On appelle **assemblage** l'opération qui a pour but de réunir ensemble plusieurs pièces de bois pour former un tout.

Fig. 14

Les assemblages doivent être étudiés au point de vue des efforts que les deux pièces assemblées exercent mutuellement l'une sur l'autre ; ces efforts sont de différents genres : tension, compression, glissement ; le tracé de l'assemblage dépend souvent de tous ces éléments réunis, et doit être établi de manière à permettre de vérifier que les différentes parties de l'assemblage peuvent résister à ces efforts. On peut diviser les assemblages élémentaires qui se présentent journellement en trois grandes sections :

1° **Assemblages en bois de fil.**— Ils sont destinés à réunir ensemble deux ou plusieurs pièces de bois dans le sens de leur longueur ; ils se font : à plat joint, à recouvrement, à rainure et languette, à languette rapportée, à grain d'orge avec ou sans épaulement. Tous ces différents procédés sont figurés à la suite les uns des autres (*fig.* 14).

Digitized by Google

2° **Assemblages en bois d'about.** — Ils s'exécutent très simplement par enture bout à bout (*fig.* 15) ou par enture avec clameaux, pièces de fer recourbées avec deux pointes dont l'inclinaison permet d'opérer le serrage (*fig.* 16); par

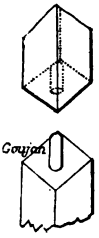


Fig. 15

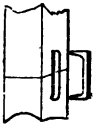


Fig. 16

Fig. 17

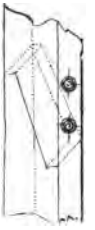


Fig. 18

Fig. 19

enture à plate-bande et boulons de serrage (*fig.* 17) ; par sifflet simple ou double (*fig.* 18 à 20), à mi-bois (*fig.* 21), en croix (*fig.* 22), à tourillons rapportés, à rentures, à enfour-

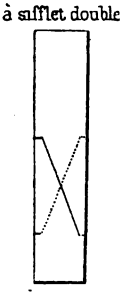


Fig. 20

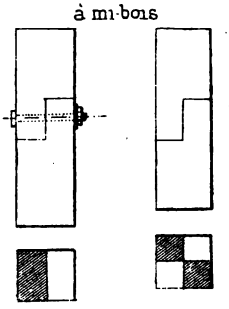


Fig. 21 Fig. 22

chement et à queue d'aronde. L'assemblage à tenon et mortaise ne convient pas dans ce cas.

Pour les grosses pièces de charpente, on emploie le trait de Jupiter simple ou composé, que l'on consolide à l'aide de

Digitized by Google

plates-bandes. La *clef* est formée de deux cales de bois de chêne dur formant coin ; on la place dans l'entaille réservée à cet effet, de manière que chacun des morceaux agisse en

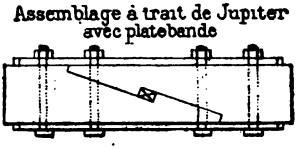


Fig. 23

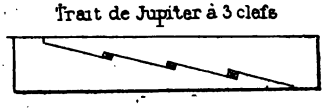


Fig. 24

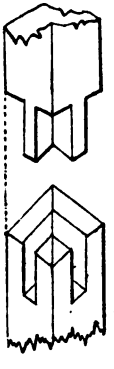


Fig. 25

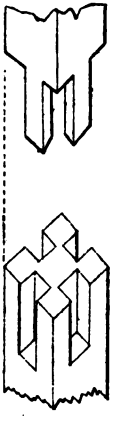


Fig. 26

sens inverse ; on frappe la clef avec un marteau (*fig.* 23 et 24).

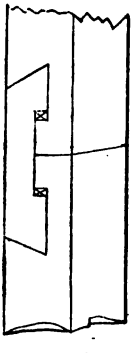


Fig. 27

Cette clef est ordinairement une pyramide quadrangulaire tronquée qui forme serrage.

Il existe également des entures très compliquées destinées aux assemblages de pièces d'about. Les figures 25, 26 et 27 en donnent des exemples.

3° **Assemblages en bois de travers.** — Les pièces se présentent sous un angle quelconque. Quand deux pièces sont perpendiculaires entre elles, on peut les assembler par superposition, ou à mi-bois, si l'on a moins de hauteur. Pour ne pas diminuer trop la section de l'appui, on emploie l'assemblage *à paume* (*fig.* 28); quelquefois, on y ajoute un repos horizontal nommé *épaulement.* Le plus

Digitized by Google

communément, on se sert du tenon et de la mortaise; on consolide l'assemblage au moyen de broches ou de chevilles en bois. Pour ne pas trop affaiblir la pièce qui porte le tenon, on le renforce soit par un épaulement (*fig.* 29), soit en

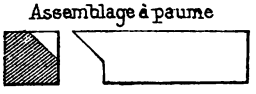


Fig. 28

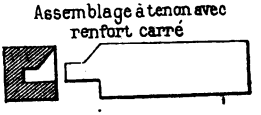


Fig. 30

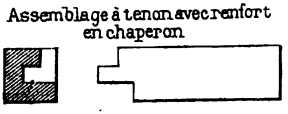


Fig. 29

Fig. 31

diminuant une des faces du tenon (*fig.* 30), ou encore comme l'indique la figure 31 (assemblages sur chevêtres). La figure 32 représente un tenon simple.

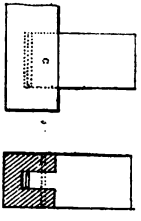


Fig. 32

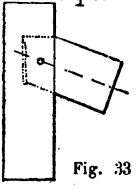


Fig. 33

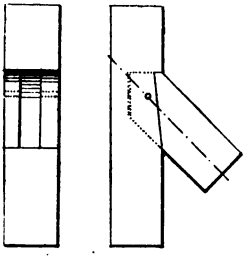


Fig. 34

Lorsqu'on a deux pièces obliques, on les assemble soit à tenon simple (*fig.* 33), soit **à embrèvement** (*fig.* 34); c'est un tenon oblique consolidé à l'extérieur par un léger chanfrein dans la pièce oblique. L'embrèvement anglais (*fig.*

Digitized by Google

constitue un excellent assemblage. Pour les grosses pièces de charpente se présentant sous un angle très aigu, l'embrèvement à double épaulement (*fig.* 36) est à recommander.

Embrèvement anglais

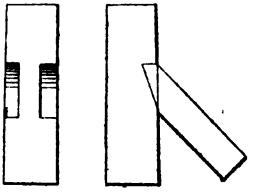


Fig. 35

Assemblage d'angle à mi-bois

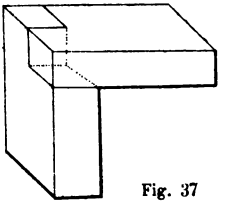


Fig. 37

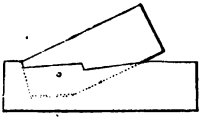


Fig. 36

Assemblage d'angle à tenon.

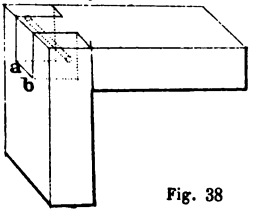


Fig. 38

Assemblage d'onglet

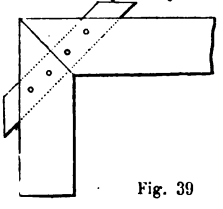


Fig. 39

Queue d'aronde ou d'bironde.

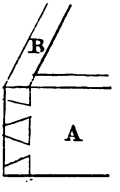


Fig. 40

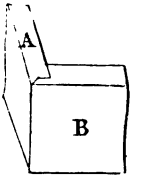


Fig. 41

Les **assemblages d'angles** pour cadres se font à mi-bois (*fig.* 37), à tenon et mortaise (*fig.* 38), à onglet, à simple tenon ou à double tenon ; les extrémités sont découpées suivant

Digitized by Google

des plans obliques à 45° (*fig.* 39). Pour assembler les casiers, tiroirs, boîtes, on se sert de la queue d'aronde (*fig.* 40). Cet assemblage, très solide, consiste à pratiquer dans l'une des pièces des entailles suivant des lignes obliques aux faces, et des entailles correspondantes dans l'autre pièce, mais opposées aux parties conservées dans la première. Les queues sont *recouvertes* lorsque, l'assemblage fait, on ne voit ni d'un côté ni d'un autre le bois debout; dans ce cas, l'arasement des entailles du dessus et du dessous se fait d'onglet (*fig.* 41); elles sont dites *demi-recouvertes*, lorsque le bois debout paraît sur une face.

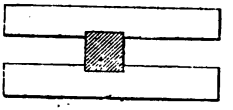


Fig. 42

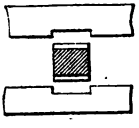


Fig. 43

Les **moises** sont des pièces de bois parallèles espacées de 0m,10 à 0m,25 l'une de l'autre et comprenant entre elles d'autres pièces qu'elles sont chargées de relier. On distingue les moises avec entailles simples (*fig.* 42) ou doubles (*fig.* 43).

Assemblages divers. — Dans la charpente d'une ferme les assemblages suspendus représentés par les figures 44

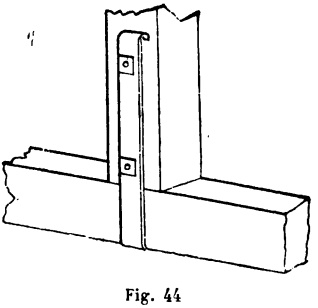


Fig. 44

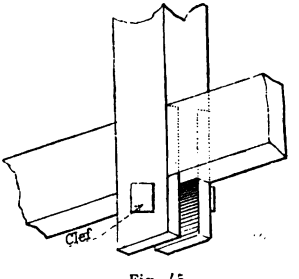


Fig. 45

et 45 sont usités; ils permettent au poinçon de supporter une partie de la charge de la pièce inférieure ; la figure 44 repré-

Digitized by Google

sente un étrier maintenu par deux boulons; la figure 45, un assemblage à tenon et mortaise avec clef.

Les assemblages à queue d'aronde se font de manières très

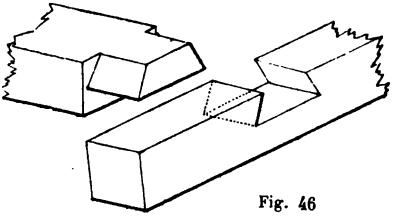


Fig. 46

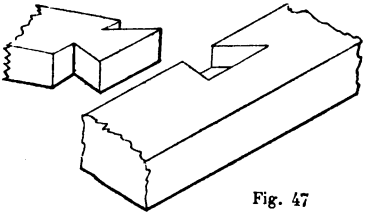


Fig. 47

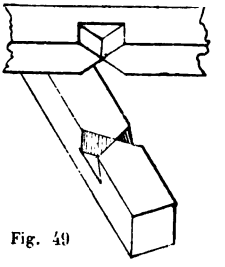


Fig. 49

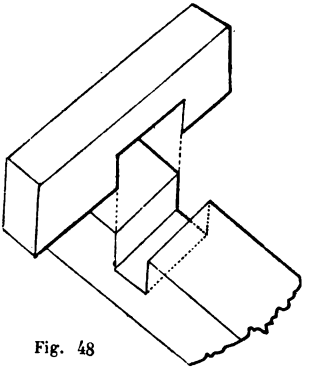


Fig. 48

Fig. 50

diverses, selon les efforts auxquels sont soumises les pièces assemblées; pour résister à la compression, on disposera la queue comme l'indique la figure 46 : pour un travail de traction, on prendra la coupe de la figure 47.

Les coupes représentées par les figures 48 et 49 peuvent ser-

Digitized by Google

vir d'exemples d'assemblages simples à mi-bois pour pièces perpendiculaires.

49. Les ferrures employées pour consolider les assemblages sont extrêmement simples ; ce sont les équerres ordinaires, les équerres à **T** que l'on pose à plat ou de champ. Pour consolider les extrémités des traverses des brancards ou les pieux battus à la sonnette, on emploie des *frettes* en fer posées à chaud et refroidies immédiatement après (*fig.* 50).

Les *étriers* sont destinés à la consolidation des assemblages de bois en droit fil (*fig.* 51).

Les *harpons* sont des boulons terminés par une partie méplate recourbée à son extrémité (*fig.* 52); ils sont employés principalement pour fixer les assemblages de pièces perpendiculaires entre elles.

Les épures des assemblages de charpente sont exécutées en vraie grandeur sur une aire bien dressée sur laquelle on relève les panneaux servant à l'ouvrier pour exécuter son travail.

Le tracé se fait aussi sur la pièce à l'aide de points relevés directement sur l'épure ; c'est ce qu'on appelle mettre la pièce sur lignes.

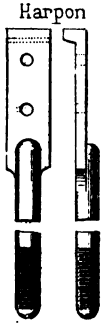


Fig. 52

50. Courbure et ployage des bois. — Les bois ont la propriété de se ramollir sous l'influence de la chaleur et de la vapeur d'eau. Pour courber des pièces de faible épaisseur, comme les douves de tonneaux, il suffit d'allumer, dans l'intérieur des pièces réunies, un feu de copeaux qui ramollit le bois. Pour de plus grosses pièces, des madriers, par exemple, voici comment on procède : la pièce est maintenue à l'une de ses extrémités par un chevalet et s'appuie en son milieu sur un point fixe. On allume du feu sous le madrier; on arrose constamment la face supérieure; le bois se courbe sous l'action d'un poids placé à l'extrémité libre de

Digitized by Google

la pièce, poids que l'on augmente progressivement jusqu'à ce que la courbure voulue ait été obtenue.

L'eau bouillante ramollit bien le bois, mais la dessiccation qu'il faut lui faire subir ensuite altère beaucoup sa résistance et produit un retrait considérable. La vapeur d'eau est préférable. On dispose alors les pièces à courber dans de grandes caisses de cuivre ; une chaudière fournit la vapeur nécessaire. A la sortie, on oblige les pièces à s'appuyer sur des pieux solidement fixés en terre selon le gabarit à obtenir. Lorsque la pièce est complètement sèche, et qu'on retire les pieux, elle revient toujours un peu, en raison de son élasticité, à sa forme primitive ; on doit donc toujours dépasser la courbure définitive.

§ 2. — Débitage des bois

51. L'outil élémentaire employé pour le débitage des bois est le coin. — Les coins sont des outils grossiers destinés à fendre le bois, et servant au débitage des merrains. Les deux faces du coin portent sur la pièce à travailler ; les composantes verticales de la pression exercée produisent une charge sur la pièce, et les deux composantes horizontales tendent à séparer la pièce en deux, suivant une ligne de moindre résistance. Pour que cette séparation se produise il faut que le demi-angle du coin soit plus petit que le complément de l'angle de frottement ; sinon, la pression produite aurait simplement pour effet d'écraser la pièce. En général, l'angle du coin ne dépasse pas 30°. Le meilleur coin est celui qui pré-

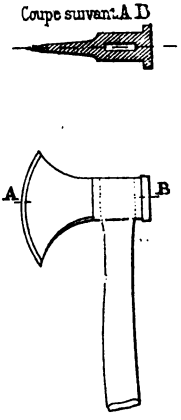


Fig. 53

Fig. 54

Digitized by Google

sente le profil d'un triangle rectangle, la pression agissant suivant l'un des côtés de l'angle droit.

On emploie pour l'abatage des bois la *hache* (*fig.* 53) et la *cognée*. L'*herminette* est employée pour le dégrossissage et le dressage des billes (*fig.* 54.)

52. Scies. — On appelle *profil* d'une dent de scie la projection de son contour sur le plan de la lame. Le *profil* est limité latéralement par les *faces* de la dent. Les *côtés* de la dent sont dans le prolongement de la lame. Les intersections des côtés et des faces forment un dièdre aigu, d'ouverture variable suivant l'inclinaison des faces : ce sont les *arêtes latérales*. L'arête du dièdre se nomme le *tranchant* de la dent; l'*arête du sommet* est donnée par l'intersection des deux faces.

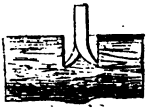


Fig. 55

On appelle *voie* l'épaisseur de la scie, comptée de dehors

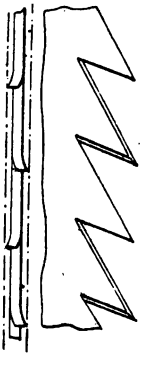


Fig. 56

Fig. 57

en dehors des dents. La voie est toujours plus grande que l'épaisseur de la lame, afin d'éviter les frottements latéraux

Digitized by Google

qui produiraient l'échauffement de l'outil et une augmentation d'effort. Elle s'obtient en faisant *dévoyer* les dents alternativement à droite et à gauche du plan de la lame. La voie ne doit pas dépasser le double de l'épaisseur des dents, sans quoi il se produirait pendant le sciage un vide entre les dents ; le bois ne serait pas scié par l'outil et occasionnerait un frottement inutile ; de plus, il se produit à chaque trait de scie une perte de matière qu'il ne faut pas exagérer (*fig.* 55).

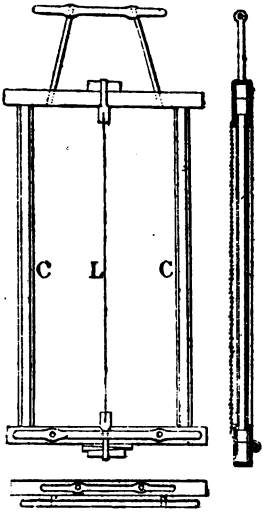


Fig. 58

Le jeu entre la lame et le trait doit donc être strictement nécessaire pour permettre le dégagement de la sciure logée soit dans l'intervalle des dents, soit latéralement, et pour empêcher le frottement. La voie doit être plus grande pour les bois tendres et humides, parce que la sciure foisonne davantage. Toutes les dents d'une scie, pour travailler également, doivent avoir même forme et même voie.

Les *scies en long* débitent le bois suivant la direction des fibres ; le travail latéral de la lame est donc peu considérable ; c'est l'arête du sommet qui tranche les fibres ; la scie ne travaille donc que dans un sens. L'angle des dents doit être assez aigu ; une des faces est presque normale au trait de scie, l'autre est inclinée sur ce trait (*fig.* 56). C'est le profil des dents de scie pour bois tendres. Pour les bois durs, on est obligé, pour augmenter la force des dents, d'exagérer l'angle au sommet.

Enfin, pour pouvoir loger la sciure, on courbe les dents ; on obtient alors le bec de perroquet (*fig.* 57).

Les scies en long sont employées pour le débit des grosses pièces de bois ; elles se présentent sous deux aspects : la *scie à cadre* et le *cran*. La scie à cadre est employée surtout

Digitized by Google

quand on doit suivre un trait un peu courbe ; l'épaisseur de la lame est uniforme, et la voie varie de 1mm,5 à 2 millimètres (*fig.* 58). Le *cran* n'a pas la rigidité de la précédente ; la lame est plus épaisse, plus large en haut qu'en bas; le trait est, par suite, plus large, mais mieux conduit (*fig.* 59). Ces scies ne travaillent que pendant la descente; pour remonter la scie, on l'écarte légèrement du fond du trait. On donne, en moyenne, trente coups de scie par minute. La course de l'outil est de 0m,80. Trois hommes peuvent scier un mètre carré de bois dur à l'heure.

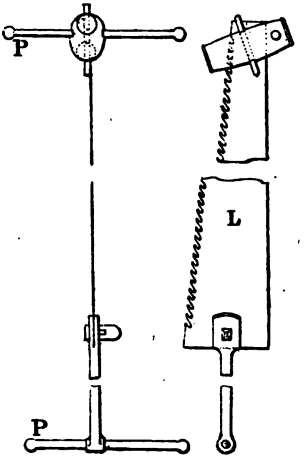


Fig. 59

Les *scies à tronçonner* travaillent le bois perpendiculairement aux fibres; les arêtes latérales travaillent sur toute leur longueur; comme elles agissent dans les deux sens, les dents doivent avoir un profil symétrique. On leur donne, en général, la forme d'un triangle isocèle, les deux faces étant inclinées en sens contraire (*fig.* 60). La dent est dévoyée de façon à ce que le tranchant soit toujours à l'extérieur. Pour les bois tendres, on est obligé d'augmenter l'intervalle des dents, pour pouvoir loger la sciure. On y arrive facilement avec les profils suivants (*fig.* 61 et 62).

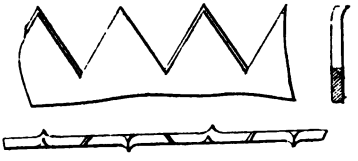


Fig. 60

La scie à tronçonner (*passe-partout*) se compose d'une lame plus épaisse au centre qu'aux deux extrémités, car les dents s'usent plus vite au milieu; elle est manœuvrée par

Digitized by Google

deux hommes et travaille dans les deux sens (*fig.* 63).

L'*égoïne* (*fig.* 64), plus petite, est manœuvrée par un seul ouvrier; elle est destinée aux menus débits de charpente.

Fig. 61

53. Sciage mécanique. — Les considérations suivantes s'appliquent également aux scies à main.

Si nous considérons le mouvement relatif de la scie rectiligne (*scie à ruban*, par exemple) et d'une pièce de bois, que celle-ci soit fixe ou mobile pendant le travail de l'outil, il est facile de voir que la course de la scie doit être oblique sur la direction du trait. Supposons, en effet, une dent isolée se déplaçant parallèlement au fond du trait; elle découpe, à l'avancement, un prisme d'épaisseur uniforme; les dents qui se

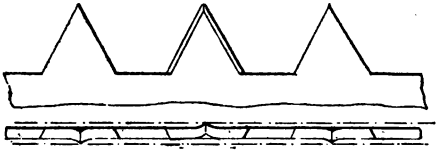


Fig. 62

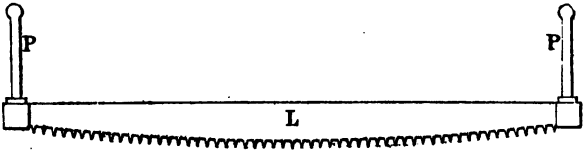


Fig. 63

trouvent derrière, s'il y en a, ne travaillent pas du tout. Il est donc nécessaire, pour que le travail soit possible, que le fond du trait soit incliné sur la trajectoire de la lame. Cette inclinaison est toujours très petite : l'angle des deux directions précitées, dit *angle d'attaque*, ne dépasse pas 1°. Lorsque

Digitized by Google

la scie travaille, la ligne de denture coïncide avec le fond du trait. Si le mouvement relatif est une translation uniforme, il est clair que chaque dent découpera dans le bois un petit prisme d'épaisseur constante égale au produit du pas de la denture par la tangente de l'angle d'attaque.

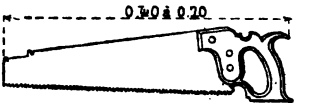


Fig. 64

Toutes les dents d'une scie ne travaillent pas également; il est facile de voir que les dents situées aux extrémités de la lame travaillent peu ou ne travaillent pas, tandis que les dents du milieu sont toujours en contact avec la pièce. Quand l'épaisseur de la pièce est plus petite que la course, toutes les dents sortent du bois, et la sciure peut se dégager facilement; on conçoit que la réalisation de cette condition n'est pas toujours possible, l'épaisseur des pièces étant parfois considérable; elle est réalisée dans le sciage continu à lames sans fin et dans les scies circulaires.

54. Les scies alternatives. — Les scies alternatives sont animées d'un mouvement pendulaire produit par une bielle et une manivelle. Le bois a une avance constante, uniforme ou intermittente. Dans tous les cas, le mouvement pendulaire produit, pendant la montée, un recul qui a pour effet de dégager le fond du trait de scie; les dents ne frottent plus contre le bois, et la sciure peut se dégager. Si la pente de la lame est trop grande, le recul est trop considérable, et la scie ne commence à travailler qu'à fond de course; si la pente est trop petite, le recul est insuffisant; les dents travaillent au début de la course descendante, presque normalement à la pièce, et produisent des chocs très violents. La longueur de la lame doit être au moins égale à la course, plus l'épaisseur de la pièce.

L'avance du bois est variable suivant l'espèce; c'est l'expérience qui la donne; on adopte généralement les nombres suivants :

Digitized by Google

Orme tortillard, frêne, cormier et bois très durs...	0,0015 à 0,0025
Orme, noyer, hêtre.....	0,0030
Chêne.....	0,0035
Bois blanc.....	0,0050
Sapin.....	0,0055

Ces chiffres sont des moyennes; on peut les faire varier si les bois sont de dimensions moindres et s'ils sont humides.

L'emploi des scies alternatives est avantageux lorsqu'on débite les bois en un grand nombre de plateaux égaux, et d'une façon uniforme; elles permettent également de débiter des bois en pièces courbes par l'adjonction de chariots spéciaux pour le guidage des pièces (*scie Normand*); elles donnent toujours un très beau sciage. Elles exigent des supports robustes, des fondations inébranlables; elles produisent moins que les scies à lames sans fin.

La commande de ces machines se fait par un arbre placé en dessous; deux bielles donnent le mouvement de descente et de montée verticale du porte-lames.

Le châssis porte-lames doit être construit aussi léger que possible, pour éviter les effets de l'inertie. Navier a indiqué, comme poids à donner aux pièces oscillantes des scies, un poids égal à la moitié de la résistance moyenne que les bois présentent à la scie. On les construit soit en fer creux rempli de bois, en vue de diminuer les vibrations, soit simplement en bois. La tension des lames dans le châssis est obtenue au moyen de cales ou de vis; les premières ont l'inconvénient d'imprimer des vibrations à la lame lors du réglage, mais empêchent aux ouvriers de donner aux lames une trop grande tension qui les fatiguerait, ce qui se produit généralement avec les vis.

Les scies alternatives sont toujours pourvues d'un volant à contrepoids qui a pour but de remédier à l'inégalité des efforts auxquels les lames sont soumises. Boileau indique comme suit le poids P à lui donner :

$$P = \frac{25.000}{v^2},$$

v étant la vitesse en mètres par seconde à la circonférence du volant qu'il prend de $1^m,60$ de diamètre.

Digitized by Google

Le mouvement d'avance du bois se donne de différentes manières. Tantôt c'est une bielle qui prend son mouvement sur l'arbre moteur et actionne une roue à rochet; elle est montée sur un arbre portant une seconde roue d'engrenage, qui communique son mouvement soit à une crémaillère, soit à une chaîne de galle; un système de leviers permet de faire varier l'avancement du rochet, c'est-à-dire l'avance de la pièce. Quelquefois l'avance est donnée par des rouleaux à cannelures cylindriques ou coniques R, sur lesquels repose la pièce. Un arbre intermédiaire A, qui reçoit son mouvement de l'arbre moteur, porte une roue dentée E, qui

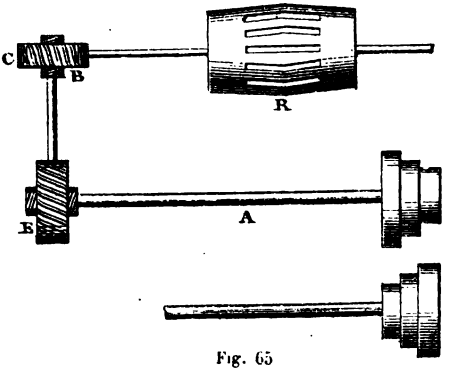


Fig. 65

met en marche un arbre B perpendiculaire terminé par une vis sans fin. Le rouleau reçoit son mouvement de l'arbre B par l'intermédiaire de la roue C. Les changements de vitesse se font à l'aide de cônes (*fig.* 65).

Le guidage des pièces se fait au moyen de chariots glissant sur des rails. Pour fixer la pièce aux chariots on utilise des vis de pression montées sur des leviers articulés.

Des galets appuient sur la pièce pour produire son entraînement; ils sont maintenus par des contrepoids fixés à des leviers dont la position se règle à l'aide de volants.

Quand les bois sont équarris, on les guide généralement par des cylindres verticaux montés sur des axes parallèles.

Digitized by Google

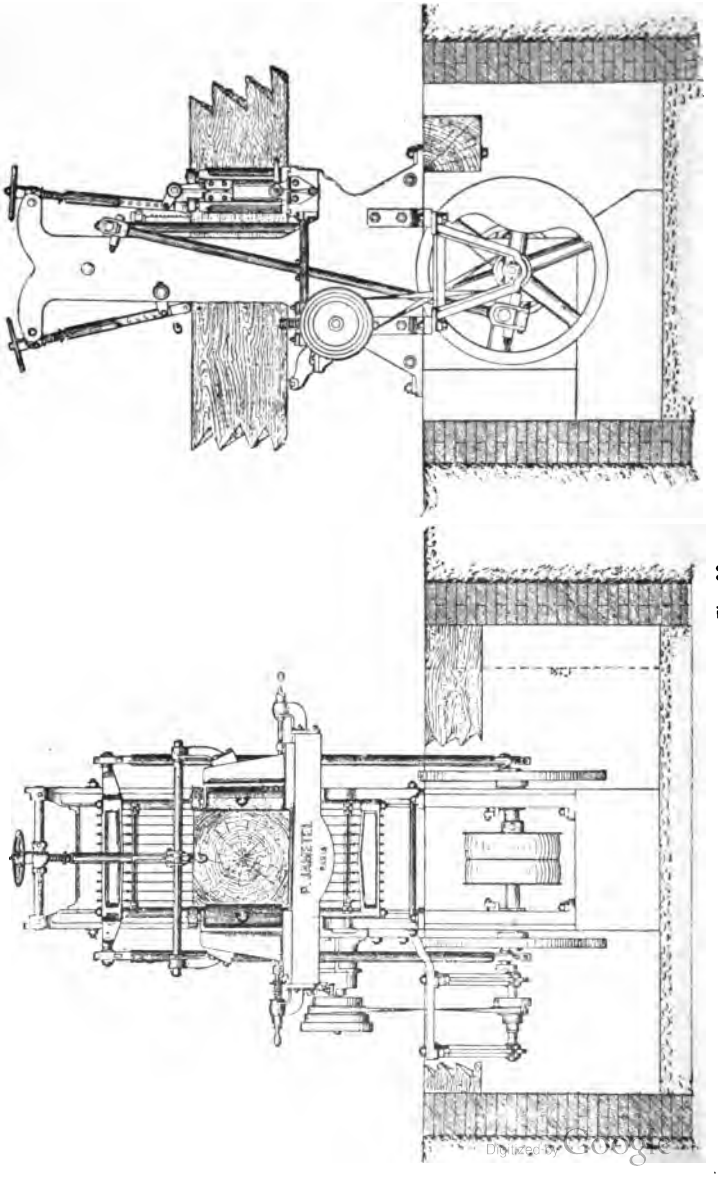


Fig. 66

Digitized by Google

On oblige les axes à se rapprocher l'un de l'autre pour enserrer la pièce de bois.

La figure 66 représente une scie alternative à lames droites pour bois équarris; dans cet appareil, la denture est telle que le sciage se fait aussi bien dans la course ascendante que dans la course descendante; il en résulte que l'amenage des bois se fait d'une manière continue. La facilité d'affûtage est très grande; le trait produit est parfaitement rectiligne; cette scie à madriers fait, au minimum, 2 mètres de sciage à la minute.

55. La résistance au sciage dépend de l'épaisseur de la pièce à scier; elle croît plus vite que cette épaisseur. On comprend, en effet, que les fibres les plus rapprochées des extrémités se désagrègent plus facilement que celles qui se trouvent au centre; proportionnellement, ces fibres sont en plus grande quantité dans une pièce mince que dans une pièce épaisse. De plus, la lame produit un travail de frottement d'autant plus considérable que la partie engagée dans la pièce est plus longue. Le rapport de ces deux travaux est de 0,8 dans les scies en long. Dans le sciage à la main, le trait de scie étant plus faible, le travail dépensé est moindre que dans le sciage mécanique. Le sciage en long exige plus de travail que le sciage en travers : les $\frac{5}{4}$ environ.

Les bois humides se scient plus facilement que les bois secs. Poncelet a fait des expériences que nous résumons ici :

Espèces de bois.	Travail dépensé pour les bois secs.	Rapport de dépense du bois vert au même bois sec.
Chêne	1,00	0,66
Frêne	1,76	»
Orme	1,15	0,70
Noyer	1,15	0,70
Bois blanc	0,88	0,69
Sapin	0,66	»
Orme tortillard	2,75	»

Uhland donne la formule suivante pour trouver la puis-

Digitized by Google

sance utile en chevaux d'une scierie alternative d'une seule lame :

$$T_u = S\left(0{,}046 + 0{,}000224\,\frac{CW}{2a}\right),$$

dans laquelle S représente la surface débitée par heure et par mètre carré; C, la course en mètres; W, la voie en millimètres; et a, l'avancement en millimètres.

Le travail moteur est extrêmement variable. Les pertes occasionnées par les frottements des transmissions, les secousses, les vibrations des pièces et l'inertie des masses oscillantes atteignent, dans les scies à mouvement alternatif, jusqu'à 55 0/0 du travail mesuré sur l'arbre de transmission; il diminue avec le nombre de lames travaillant sur un même châssis, et peut être réduit au tiers avec quatre lames (Boileau).

56. Scies à découper. — Scies à placage. — Les scies alternatives à découper sont des arcs métalliques fixes, aux extrémités desquels s'attachent des cordes fixées à un manche, qui maintient la lame de scie; elles sont employées pour faire les découpages intérieurs qui ne peuvent être exécutés avec la scie à ruban. Elles sont de deux espèces : les scies à *arc*, que nous venons de décrire et dont la lame n'est pas également tendue; et les scies à *sangle*, où la tension de la lame est toujours uniforme, et obtenue à l'aide d'une poulie mobile placée à la partie supérieure.

Les *scies à feuillets et à placage* ne sont employées que pour exécuter des sciages de précision dans des bois précieux : noyer, acajou, palissandre; elles ne font qu'un trait à la fois. La lame, très fine, afin de faire le moins de perte possible, est très tendue et guidée dans la totalité du travail. Le bois est d'abord collé sur un châssis, puis griffé sur un chariot, qui se meut verticalement de bas en haut; l'avancement se fait par un encliquetage à friction, pour éviter les secousses. La lame possède un mouvement horizontal, et l'avancement se fait automatiquement, avec vitesses variables

Digitized by Google

à volonté. Les dents ont la forme et les dimensions suivantes, pour permettre de loger les déchets produits ; l'épaisseur des lames est de 2/3 de millimètre ; on peut enlever 1/2 millimètre de bois (*fig.* 67) ; la voie est très faible.

On applique également le sciage continu au placage (Jametel) ; on obtient ainsi un sciage plus parfait, plus régulier, et une plus grande production ; on scie avec ces machines des lames d'ivoire, des feuilles de caoutchouc, appelées feuilles anglaises.

Fig. 67

57. Scies à ruban. — La scie à ruban est excellente pour les chantournements et autres menus travaux ; elle convient aussi pour le sciage des bois en grume à débit variable ; elle donne un travail continu. Son emploi exige des ouvriers soigneux : il est difficile de régler la lame, qui produit des frottements exagérés des arbres sur leurs coussinets, à cause de sa grande tension. La lame sans fin tend toujours *à cœur*, surtout quand une dent dépasse la voie ; il ne faut jamais négliger de détendre la lame quand on cesse de scier. Les lames de scie à ruban, en raison de leur grande longueur, de leur faible épaisseur, du peu de tension qu'on peut leur donner, doivent être très bien faites ; elles se vendent généralement en bandes dentées et planées, prêtes à fonctionner, c'est-à-dire brasées, voyées et affutées. L'*épaisseur* de la lame doit être en rapport avec le diamètre des poulies sur lesquelles elles s'enroulent ; trop épaisses, elles fatiguent trop dans leur flexion et peuvent se rompre ; trop minces, elles ne sont pas assez rigides. Les épaisseurs varient de 6 à 13 dixièmes de millimètre, pour des poulies de $0^m,60$ à 2 mètres de diamètre. La *largeur* des lames diffère selon le travail : pour le débit des bois en grume on admet une largeur égale à 1/18 du diamètre des poulies ; pour les scies à chantourner, elle se détermine d'après les courbes à exécuter.

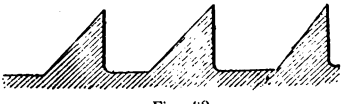


Fig. 68

Digitized by Google

Pour le sciage des bois en grume, on adoptera la denture à *gencives* (*fig.* 68) pour les bois durs, et à *crochets* (*fig.* 69) pour les bois tendres. L'écartement des dents variera de 15 à 25 millimètres, selon l'épaisseur des bois à scier et selon leur nature.

Fig. 69

L'*affûtage* à la main se fait sur des bancs d'affût spéciaux; on pince dans une mordache la partie sur laquelle on veut opérer, et on l'affûte à la lime; pour les scies à dents mariées et à gencives, on se sert du tiers-point à angles arrondis; pour les dents à crochets, on emploie la lame olive ou demi-circulaire (*fig.* 70) pour le dessous de la dent, et le tiers-point pour le dessus. Il faut avoir soin d'appuyer la lame dans le fond des dents, car c'est toujours en cet endroit que les criques tendent à apparaître; si l'affûtage ne les enlève pas, elles deviennent vite dangereuses, et peuvent amener des ruptures. Les affûtages légers et répétés valent mieux qu'un affûtage énergique trop rare; il faut avoir soin, à chaque opération, d'abattre les angles vifs qui se produisent au fond des dents et qui nuisent à la bonne exécution du travail.

Fig. 70

L'affûtage mécanique se fait aujourd'hui dans des conditions excellentes, et l'emploi des machines à affûter est très économique. L'affûtage se fait à l'aide d'une meule à émeri tournant à très grande vitesse; un appareil spécial sert à donner la voie.

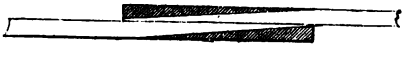


Fig. 71

La voie se donne également à la main, la scie étant saisie dans une mordache, à l'aide d'un poinçon et d'un marteau, ou simplement d'un tourne-à-gauche.

La voie se donne tous les cinq ou six affûts; elle est plus grande pour les bois tendres et filandreux que pour les bois durs.

Digitized by Google

Quand une rupture se produit dans la lame, il faut la rebraser. Voici comment on opère : les deux extrémités de la lame étant

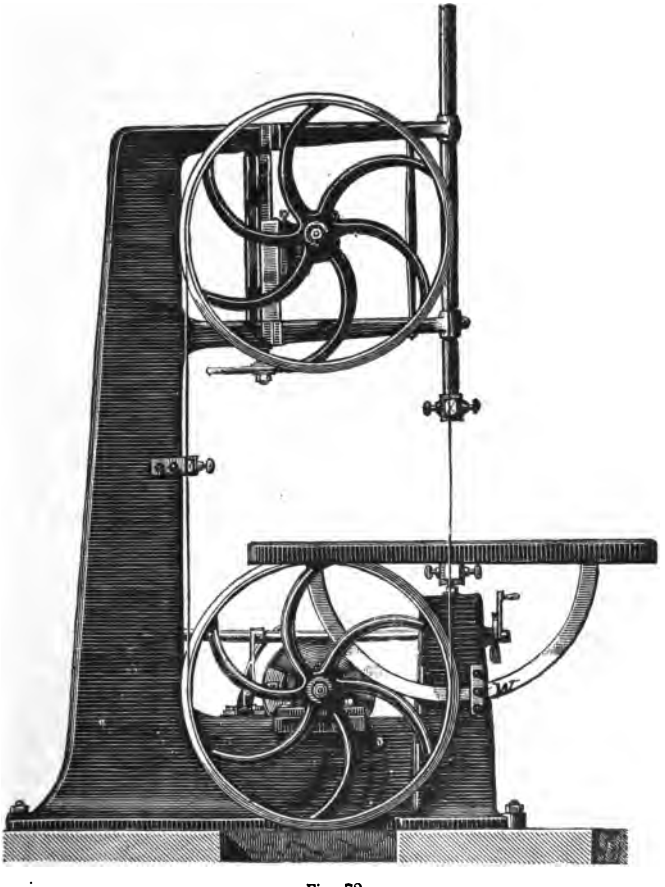


Fig. 72

coupées et limées sur le plat pour enlever la rouille, qui empêcherait la prise de la brasure, on les superpose avec un recou-

Digitized by Google

vrement de 10 à 15 millimètres, de manière que les dents se correspondent bien; on les fixe dans cette position avec deux ligatures en fil de fer. On garnit ensuite les bords du recouvrement avec du fil de laiton qu'on enroule en quantité convenable; ce laiton, en fondant, constitue la soudure.

Pour faciliter l'opération on maintient la lame entre deux étaux à main ; on recouvre les fils de laiton d'une couche de borax délayé dans l'eau. On porte à la forge, et on chauffe la lame, maintenue entre deux poids, à l'endroit de la brasure. On laisse refroidir; le brasage est fait. Il suffit d'enlever au burin et à la lime le fil de fer qui servait à l'attache ; on amincit la brasure à la lime, et on redresse au marteau (*fig.* 71). On procède, enfin, à la trempe de la lame.

Pour les lames étroites on peut faire la brasure à la pince à braser chauffée au blanc; cette pince est brûlée au bout de quelques opérations.

Pour coller le caoutchouc sur la poulie, on nettoie celle-ci soigneusement pour enlever les matières grasses ; on la chauffe vers 80°; on place le caoutchouc, et, avec un morceau de bois rond, on l'écarte légèrement de la poulie; on place la colle chauffée à l'état liquide; on égalise avec le morceau de bois en le promenant rapidement entre la poulie et le caoutchouc. Lorsqu'on a complètement enduit de colle, on frappe légèrement avec un maillet sur le caoutchouc, pour assurer le contact sur toutes les parties et égaliser la couche de colle.

Aujourd'hui, c'est la garniture en caoutchouc qui est universellement employée pour entourer les poulies porte-lames.

Ci-dessous la description d'une scie à ruban à bâti en fonte, à table inclinable, utilisée pour le chantournement et le sciage rectiligne (*fig.* 72). Deux axes sont munis de poulies sur lesquelles on enroule les lames d'acier après les avoir entourées d'une lame de caoutchouc. L'axe supérieur peut se déplacer verticalement pour tendre et détendre la lame; un volant manivelle terminant un axe vertical fileté permet d'effectuer ce déplacement.

Pour éviter les vibrations on utilise des guides formés d'une pièce de bois dans laquelle a été préparé un trait de scie ; ces guides peuvent se déplacer selon l'épaisseur de la

Digitized by Google

pièce à scier. Quand on veut découper le bois la table reste d'ordinaire horizontale; s'il faut l'incliner, le bois est fixé à l'aide d'un étrier portant une vis ; d'autres constructeurs maintiennent la table d'une manière plus stable à l'aide d'un guide qui se déplace dans une couronne demi-circulaire évidée. L'addition du guide G et du presseur P (*fig.* 73) permet de dédoubler les bastings et les madriers.

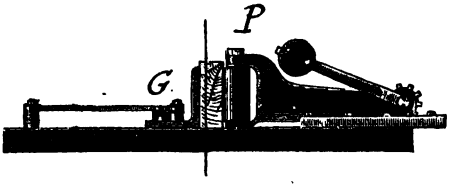


Fig. 73

Le graissage des scies à ruban est extrêmement important: l'emploi des huiles minérales doit être absolument proscrit ; l'huile animale dite de pied de bœuf convient seule pour les organes animés d'une grande vitesse.

Travail. — Uhland donne la formule suivante pour calculer le travail utile des scies à ruban travaillant le sapin :

$$T_u = \left(0{,}037 + 0{,}00652\,\frac{V}{v}\right) S,$$

dans laquelle V exprime la vitesse moyenne de la lame par seconde ; v la vitesse moyenne de la pièce de bois; S la surface débitée par heure et par mètre carré ; T_u le travail utile en chevaux.

58. Scies circulaires. — Les scies circulaires rendent des services pour le débitage des bois qui ne dépassent pas $0^m,40$ de diamètre ; elles travaillent le bois dans toutes les directions et se prêtent parfaitement au tronçonnage. Elles produisent un grand travail, s'usent régulièrement à la circonférence, et leur installation est très économique ; elles sont très

Digitized by Google

répandues à cause de leur bas prix. Mais elles sont très dangereuses, dépensent beaucoup de force, et prennent trop de bois : en effet, le frottement produit sur une grande partie de la surface de la lame étant considérable, on est obligé de *donner une voie beaucoup plus grande* qu'aux scies ordinaires ; on atteint souvent 1,9 de l'épaisseur de la lame.

Les scies circulaires sont composées d'un disque circulaire d'acier muni de dents ; comme elles tendent à se gauchir et à fouetter sous l'action de la résistance du bois, leur épaisseur est considérable ; on peut la diminuer en les animant d'une

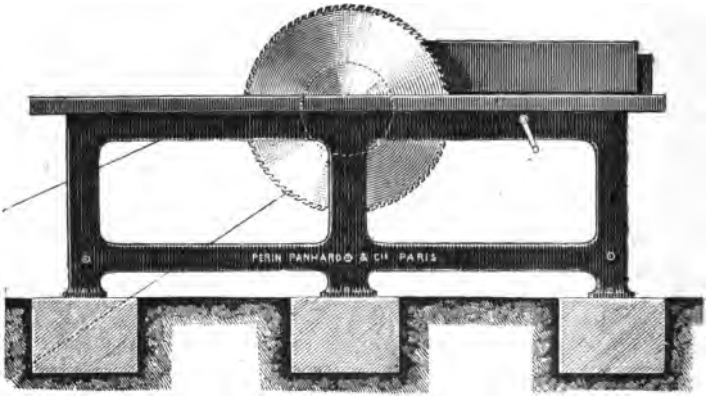


Fig. 74

très grande vitesse ; on diminue ainsi l'effort tangentiel et les vibrations, la force centrifuge tendant à raidir la lame. La vitesse par seconde est de 15 millimètres pour les bois durs ; 20 millimètres, pour le chêne ordinaire ; 25 à 30 millimètres, pour les bois tendres. Le diamètre de la lame doit être égal à 2,25 à 2,50 de l'épaisseur de la pièce à scier.

Dans ces appareils (*fig.* 74) il est nécessaire de guider les pièces de bois par rapport à la lame ; on emploie souvent un guide en forme de parallélogramme articulé. Quelquefois, l'axe horizontal de la scie, au lieu d'être fixe, est mobile ; les scies ainsi construites sont utilisées pour certains débits de

Digitized by Google

menuiserie, par exemple pour couper en long et en travers, d'équerre ou d'onglet, toutes sortes de bois. A cet effet, les scies sont munies d'un guide et d'un petit chariot coulissant à la main dans une rainure de la table et portant un talon à inclinaison variable suivant la coupe à obtenir. L'axe porte-lame est mobile ; il suffit de tourner une manivelle pour faire désaffleurer plus ou moins la scie au-dessus de la table.

Les scies à tronçonner sont de formes très variables. La figure 75 en représente un modèle très simple et très employé. A est un arbre fixe sur lequel sont fixées deux poulies (fixe et folle) ; B est mobile autour de A comme centre ; il est relié à celui-ci à l'aide d'une bielle D ; on produit l'oscillation à la main à l'aide de la manivelle M.

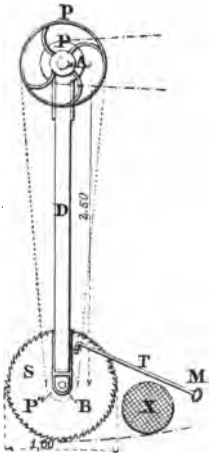


Fig. 75

Travail.— Uhland donne la formule suivante pour calculer le travail utile d'une scie circulaire :

$$T_u = \frac{Sw}{1.000\ Q},$$

dans laquelle T_u est exprimé en chevaux ; S la surface débitée par heure et par mètre carré ; w la voie en millimètres ; Q le volume de bois débité par heure en mètres cubes.

Cette formule ne tient pas compte de l'épaisseur des pièces.

Les pertes de travail absorbées dans la transmission atteignent le tiers du travail moteur.

59. Prix de revient. — Les chiffres suivants feront ressortir l'avantage du sciage mécanique sur le sciage à bras.

D'une manière générale, le sciage de long à bras d'hommes coûte :

0 fr. 40 à 0 fr. 50 par mètre carré, pour les bois durs ;
0 fr. 30 à 0 fr. 40 — — tendres.

Digitized by Google

Le sciage mécanique coûte :

0 fr. 15 à 0 fr. 20 par mètre carré pour les bois durs ;
0 fr. 10 à 0 fr. 15 — — tendres.

§ 3. — Tournage du bois

60. Les **tours** ont pour but d'obtenir des pièces limitées à des surfaces de révolution. Ils sont ordinairement composés par les organes suivants : en outre d'un banc de tour, une poupée fixe avec son cône de changement de vitesse et son

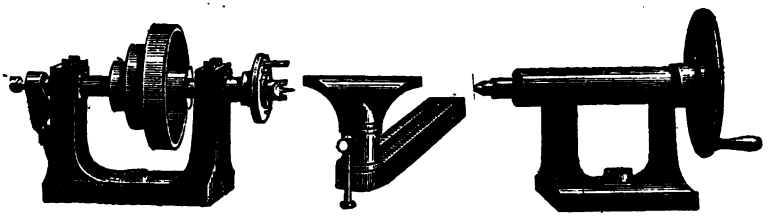


Fig. 76

plateau à tocs, une griffe, un support en éventail, et une poupée mobile (*fig.* 76). Dans les tours dits *à pointes*

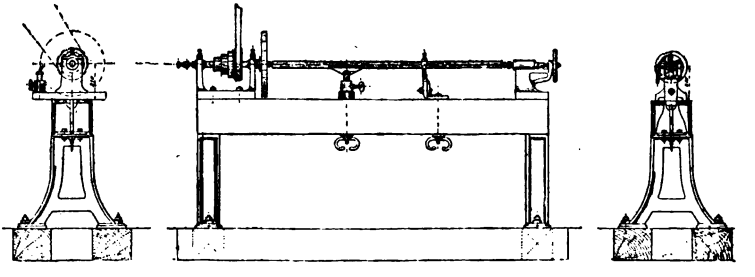


Fig. 77

(*fig.* 77), la pièce est fixée entre deux pointes qui constituent l'axe de rotation.

Digitized by Google

Dans les *tours en l'air*, la pièce est fixée à l'aide d'un mandrin sur un plateau animé d'un mouvement de rotation; ces tours ne s'emploient que dans des cas spéciaux, lorsque les dimensions des pièces à tourner sont les mêmes dans tous les sens.

L'outil est présenté à la main par l'ouvrier, qui emploie à ce travail soit le gouge, soit le grain d'orge ou le ciseau.

Dans les *tours parallèles*, l'outil est fixé sur un *chariot porte-outil*, qui peut être animé de deux mouvements rectangulaires, l'un dans une direction parallèle au banc de tour, l'autre dans une direction perpendiculaire; l'ouvrier peut ainsi faire déplacer l'outil suivant le profil à tourner.

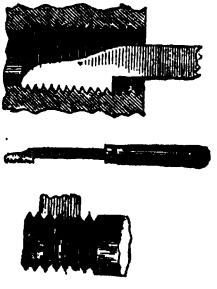


Fig. 78

Dans le travail des tours parallèles, deux cas peuvent se présenter: 1° on laisse fixe le chariot porte-outil et on fait mouvoir la pièce sur un chariot dont le déplacement est obtenu à l'aide d'engrenages et d'une vis sans fin; c'est ainsi qu'on tourne les vis et les écrous en se servant d'outils spéciaux, nommés *peignes* et *crochets* (*fig.* 78); 2° la pièce est maintenue fixe, et le chariot effectue son mouvement d'avancement progressif en traçant sur l'objet à tourner une hélice à pas régulier; on tourne ainsi très exactement des surfaces cylindriques; c'est le mode de travail ordinaire. Les tours parallèles peuvent être utilisés comme tours ordinaires.

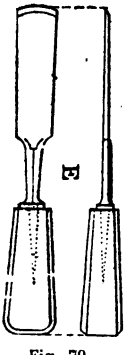


Fig. 79

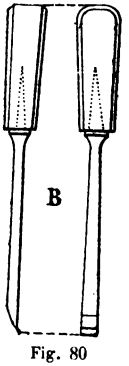


Fig. 80

Pour tourner des pièces telles que des bâtons de chaises, balustres, pieds de table, etc., on emploie des tours spéciaux, dits *tours à touche*, ont le principe est le suivant : on a deux tours parallèles à poupées fixe et mo-

Digitized by Google

bile; entre les deux on place le gabarit devant servir de modèle à la pièce à préparer; l'outil est prolongé par une portée ou touche qui rencontre constamment un des points du modèle. Quand les moulures à obtenir sont trop fines et les angles trop aigus pour que la touche puisse suivre le gabarit, on les exécute avec des leviers qui portent des outils moulurés de forme correspondante et placés aux endroits voulus.

Il existe des tours pour baguettes d'angles, pour manches à balais, qui sont livrés complètement façonnés à la sortie de l'outil.

§ 4. — Rabotage des bois. — Travail des outils

61. Les **ciseaux ordinaires** (*fig.* 79) des menuisiers ont un angle tranchant d'une ouverture de 20°; on les emploie pour façonner les pièces, creuser des mortaises; ces outils sont, soit en acier, soit en fer garni d'une mise d'acier sur la face plane.

Les **bédanes** (*fig.* 80) servent à pratiquer des mortaises; ils sont plus robustes que les précédents et présentent un angle tranchant de 30 à 35°.

On fait agir ces deux outils en frappant sur leur manche à l'aide d'un maillet.

La **bisaiguë** (*fig.* 81) peut être considérée comme la réunion des deux outils précédents; elle se manœuvre par la douille; la masse de l'outil suffit pour faire pénétrer la lame dans le bois.

Le **rabot** (*fig.* 82) se compose d'un bois ou fût en bois dur (en cormier, ordinairement), ayant la forme d'un prisme rectangulaire et dont la base, parfaitement dressée, présente une ouver-

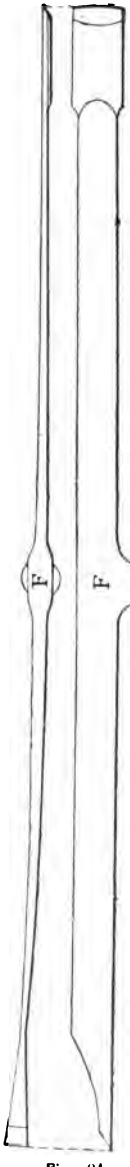


Fig. 81

Digitized by Google

ture ou *lumière* ménagée pour le passage du fer. La lumière va en s'écartant de la base à la partie supérieure de l'outil ; elle présente latéralement deux ressauts sur lesquels s'appuie le coin qui retient dans la lumière la lame et le contre-fer qui lui est assujetti.

L'espace laissé libre au-dessus du coin sert au passage des copeaux. Le contre-fer du rabot est formé, tantôt par une simple lame de fer plat posée sur le ciseau, tantôt il est façonné à son extrémité de diverses manières, selon que l'on doit obtenir dans le travail des copeaux plus ou moins fins, ou que l'on s'adresse à tel ou tel bois.

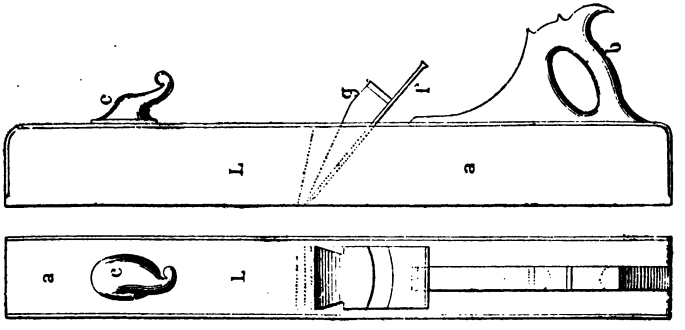


Fig. 82

Le **ciseau,** qui forme la lame du rabot, est agencé de manière à supprimer le frottement de l'outil sur une des faces qui prend alors une certaine inclinaison sur la pièce à travailler. Un ciseau à tranchant très aigu, travaillant parallèlement aux fibres du bois, tranche bien ces fibres, mais le copeau produit exerce une certaine pression sur l'outil. C'est afin d'éviter cet inconvénient que l'on a ajouté au ciseau un *contre-fer* un peu en retrait sur l'extrémité du ciseau ; le copeau se redresse sur le contre-fer, ce qui tend à le faire rompre, et la pression produite sur la lame est moindre.

Si les fibres tranchées sont très éloignées de l'extrémité de l'outil, l'action du contre-fer n'est plus efficace, rien ne s'opposant à ce que le copeau commence à prendre sa courbure

Digitized by Google

très en avant du ciseau, aussi doit-on produire en avant de l'outil une *pression* qui limite l'action tranchante du ciseau. C'est l'ouverture de la *lumière* du rabot qui donne cette limite, et la masse de l'outil lui-même qui produit cette pression.

Dans les *varlopes* et les *rabots* l'angle tranchant de l'outil varie de 25 à 30° ; la partie supérieure du fer fait avec l'angle du fût un angle variable : 50° pour les varlopes ; 48° pour les gros bouvets ; 55° pour les outils à moulures.

Les rabots sont de différents genres ; la *varlope* sert à raboter de grandes surfaces. Les *rabots à dégrossir*, ou *rifflards*, présentent des fers légèrement courbes ; on enlève ainsi des copeaux plus épais. La *galère* est un rabot fixe dégrossisseur. On munit également les rabots d'outils susceptibles de produire des moulures : ce sont les *bouvets à rainures*, *bouvets à languettes*. Le *guillaume* sert à raboter les faces des angles rentrants ; la lumière de ce rabot spécial occupe toute la largeur du fût.

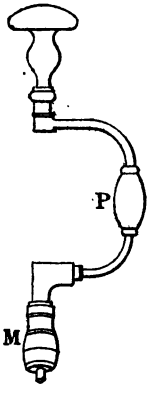


Fig. 83

Lorsque le tranchant de l'outil agit perpendiculairement aux fibres qu'il coupe et qui s'infléchissent dans le sens de la pression produite, on est obligé de donner au tranchant un angle assez ouvert, car la pression latérale empêcherait de retirer l'outil. Les outils travaillant à *contre-fil* doivent avoir une très grande vitesse, afin que la pression exercée n'ait pas le temps d'augmenter au point de briser l'outil.

Les **outils à percer** travaillent le bois perpendiculairement aux fibres ; ils sont, en général, montés sur un *vilebrequin* (*fig.* 83) ; c'est une manivelle que l'on manœuvre à la main, au moyen d'une poignée, la partie supérieure étant maintenue fixe à l'aide du bras ou de la poitrine ; l'outil fixé à la manivelle suit le mouvement de rotation.

La **gouge** est un ciseau dont la section est demi-circulaire ;

Digitized by Google

elle sert à faire des trous de peu de profondeur, ou pour préparer le passage de la mèche.

La **tarière à cuiller** (*fig.* 84, A) a une forme cylindrique et est terminée par une calotte sphérique ; la partie inférieure présente seulement un biseau qui coupe les fibres du bois. Cet outil n'est pas guidé ; il arrache les fibres du bois et ne produit jamais de trous bien nets ; il faut retirer l'outil assez souvent pour se débarrasser de la moulée.

La **tarière anglaise** donne un meilleur travail que la précé-

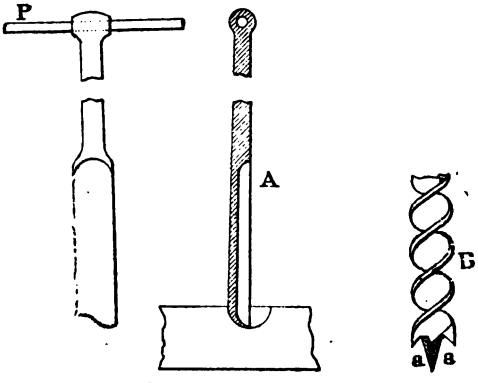


Fig. 84

dente (*fig.* 84, B); elle se présente sous l'aspect d'une lame hélicoïdale terminée inférieurement par une partie conique effilée, latéralement par deux traçoirs qui découpent les contours du trou. Le petit téton effilé guide l'outil et, comme il est fileté, il produit aussi l'avancement de l'outil. La moulée remplissant les vides de la lame produit moins de frottement que dans la tarière à cuiller.

La **vrille** (*fig.* 85) est employée pour le perçage de petits trous ; elle occasionne un travail de frottement considérable.

Digitized by Google

Les **mèches** sont des outils employés pour le perçage de gros trous; on distingue la *mèche à trépan* (*fig.* 86), présentant à son extrémité deux larges ailes recourbées en sens inverse, et la *mèche anglaise* (*fig.* 87), ressemblant beaucoup à la tarière précédemment décrite; un des traçoirs est remplacé par un ciseau incliné très aigu qui dégage les fibres découpées par le traçoir. Elle se monte sur une tige où elle est fixée à l'aide d'une clavette.

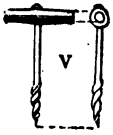


Fig. 85

62. Rabotage mécanique. — Il y a lieu de comprendre dans les machines à raboter celles qui servent à corroyer, à blanchir et à planer les bois. Toutes ces opérations dérivent du *tranchage*, qui s'effectue à l'aide de couteaux rectilignes.

L'outil de rabotage est monté sur un arbre animé d'un mouvement de rotation rapide; la pièce de bois se déplace devant lui sur un chariot. On emploie deux sortes d'outils :

1° *L'outil rectiligne.*— Les couteaux sont montés sur un porte-outil tournant et font avec la surface à travailler un angle de 55° environ; il en résulte que la surface rabotée n'est pas plane, mais composée de petites surfaces cylindriques. Les fers à raboter se fixent sur les porte-outils (*fig.* 88), à l'aide de boulons; ils sont à boutonnière fermée, ou ouverte; cette dernière est préférable, car elle évite de desserrer complètement les écrous pour le démontage.

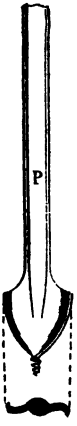


Fig. 86

Pour les petites pièces, on emploie des raboteuses à outil tournant à arbre vertical. Les bois sont griffés sur un chariot animé mécaniquement d'un mouvement de translation longitudinal et passent sous un disque armé de gouges et de couteaux plats de 30 millimètres de largeur seulement. Les gouges, par leur forme, sont très propres à prendre beaucoup de bois à la fois, tandis que les couteaux, réglés pour ne travailler qu'ensuite, agissent toujours sur une surface dégrossie et, ne prenant qu'un léger copeau, finissent le rabotage d'une manière parfaite et conservent longtemps leur affûtage (*fig.* 89).

L'arbre étant monté en porte-à-faux, il se produit des vi-

Digitized by Google

brations qui nuisent à la régularité du travail ; on ne se sert de ces machines que pour dégauchir les pièces.

L'outil peut agir d'une façon rectiligne ; il peut être mobile ou fixe : mobile, il peut être manœuvré par un système de bielles et de manivelles (varlope mécanique); on donne alors au fer une certaine obliquité sur la direction du chemin parcouru. C'est sur ce principe que se sont construites les *machines à trancher* (*fig.* 90).

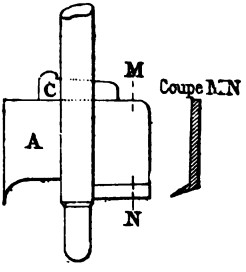


Fig. 87

Ces machines se composent d'un couteau horizontal animé d'un mouvement de va-et-vient et passant au-dessus de la pièce à travailler; à chaque coup une tranche est enlevée, car, à chaque coup, le bois placé sur un plateau mobile s'élève d'une quantité égale à l'épaisseur que l'on veut obtenir. Le bois est donc

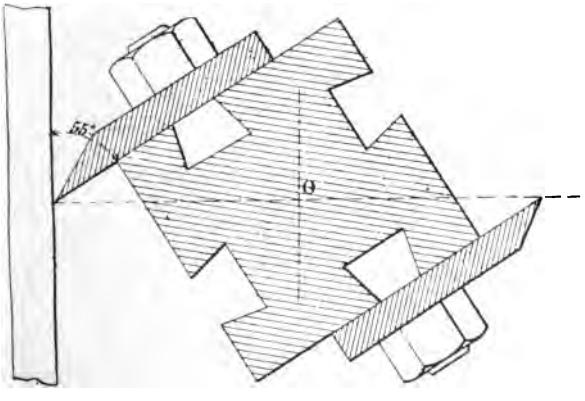


Fig. 88

tranché et non scié; mais, pour qu'il puisse être tranché dans des conditions convenables, il faut que ses fibres soient préalablement ramollies. Pour cela, on le place dans une

Digitized by Google

étuve à vapeur où on le laisse plus ou moins longtemps, suivant l'essence et les dimensions des pièces. Les produits obtenus sont détériorés par le fait même du tranchage, qui brise d'autant plus les fibres que les épaisseurs à obtenir sont plus fortes ; de plus, l'étuvage et le séchage des feuilles constituent une main-d'œuvre relativement importante.

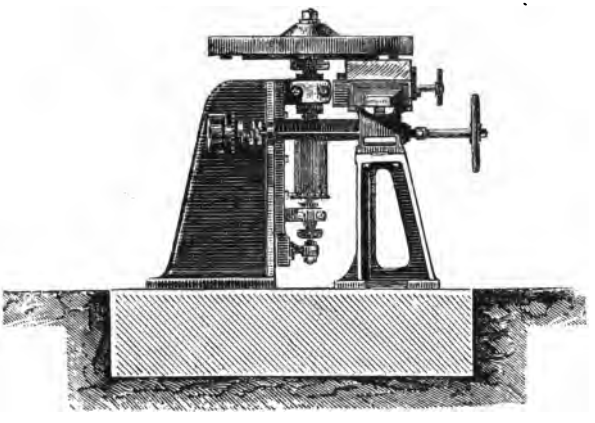


Fig. 89

L'outil est fixe, et la pièce se déplace d'une façon quelconque ; la machine à *trancher circulaire* de Jametel est une application de ce procédé. Dans cette machine le tronc d'arbre est placé entre deux griffes puissantes, comme sur un tour, et est animé d'un mouvement de rotation. On a préalablement pratiqué une rainure longitudinale dans le tronc. Un grand couteau vient alors couper le bois à la fois sur toute la longueur et détache une feuille circulairement autour de l'arbre, en s'avançant progressivement et régulièrement à mesure que l'arbre diminue de diamètre.

Le déplacement du couteau, le réglage des différentes pièces s'effectuent facilement ; selon que l'on a affaire à des bois durs ou tendres, verts ou étuvés, on règle la course du couteau pendant la marche de l'opération, ce qui permet

Digitized by Google

d'avoir une coupe absolument parfaite, lorsqu'on s'approche du cœur du bois.

Cette machine permet de tirer des feuilles larges sur des

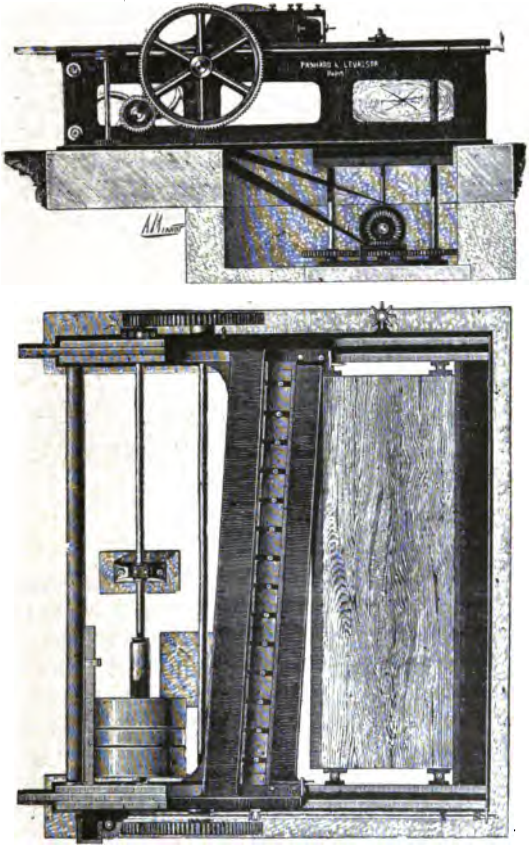


Fig. 90

arbres d'un diamètre relativement faible ; en outre, les dessins produits dans ces conditions par les veines de certains

Digitized by Google

bois (comme, par exemple, les mouchetures de l'érable) sont infiniment plus appréciés que ceux produits par les autres systèmes.

L'emploi des raboteuses à attaque rectiligne tend à disparaître; elles agissent trop lentement et exigent plusieurs passages de l'outil pour obtenir une surface bien nette; on les remplace par des raboteuses à outil tournant.

63. 2° *L'outil tournant.*— Les lames hélicoïdales tendent à remplacer les outils à lames planes. La figure 91 montre la disposition de ces lames; elles sont extrêmement minces et sont pourvues de contre-fers qui augmentent leur résistance. La disposition des lames autour du cylindre est telle que la

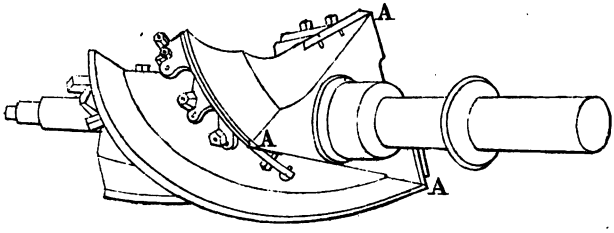


Fig. 91

génératrice qui passe par l'extrémité de l'une des trois lames rencontre la lame qui précède à l'autre extrémité du cylindre; le travail est donc constant pendant la révolution complète du cylindre; on évite ainsi les chocs; de plus, l'outil se présente toujours sous un angle constant; enfin, les copeaux formés sont rejetés à côté de la machine et ne rencontrent pas les organes. Économiquement, le prix des lames tranchantes minces est plus bas que celui des lames droites; les contre-fers qui les maintiennent dans le porte-outil ne laissent dépasser le biseau que de quelques millimètres; on peut, de plus, affûter les lames au moyen d'une meule en émeri installée sur la machine elle-même.

Les lames hélicoïdales ont pour principal avantage de n'attaquer le bois que sur un très petit nombre de points à la

Digitized by Google

fois ; elles agissent successivement sur les fibres au lieu de les attaquer en masse, ce qui supprime les éclats et les trépidations ; les bois étant attaqués en biais peuvent être aussi bien rabotés suivant le fil ou en travers.

L'outil tourne à une très grande vitesse (2.500 tours à la minute).

L'avance de la pièce se fait en sens contraire de l'attaque de l'outil qui est ainsi moins exposé à se rompre ; l'épaisseur du copeau enlevé varie de 1 à 2 millimètres ; l'angle d'attaque oscille entre 45 et 55° ; pour les bois très durs il se rapproche de 90°.

Pour calculer le travail utile d'une raboteuse à mouvement rectiligne, Uhland donne les formules suivantes :

$$T_u = (64 + 78e)\ V, \qquad \text{pour les bois tendres ;}$$
$$T_u = (80 + 96e)\ V, \qquad \text{— durs.}$$

T_u est exprimé en chevaux ; e, l'épaisseur du copeau en millimètres ; V, le volume du bois enlevé par heure et par mètre cube.

Pour les machines à outils tournants rabotant le sapin, il donne :

$$T_u = \left(2 + \frac{20}{e}\right) V, \qquad \text{ou :} \qquad T_u \left(\frac{e + 10}{200}\right) S,$$

S surface rabotée par heure.

Le travail perdu se calcule par la formule :

$$T_p = \frac{\Sigma(u)}{2900};$$

$\Sigma(u)$ représente la somme du nombre de tours par minute de tous les arbres de la machine.

En général, le rendement des raboteuses ne dépasse pas 0,56.

Digitized by Google

§ 5. — Mortaisage. — Perçage. — Moulurage Machines diverses

64. Les **mortaises** sont faites à l'aide d'une mèche ; les extrémités de la mortaise sont alors arrondies ; on les finit à l'aide d'un ciseau.

On peut faire des mortaises à l'aide d'une scie circulaire

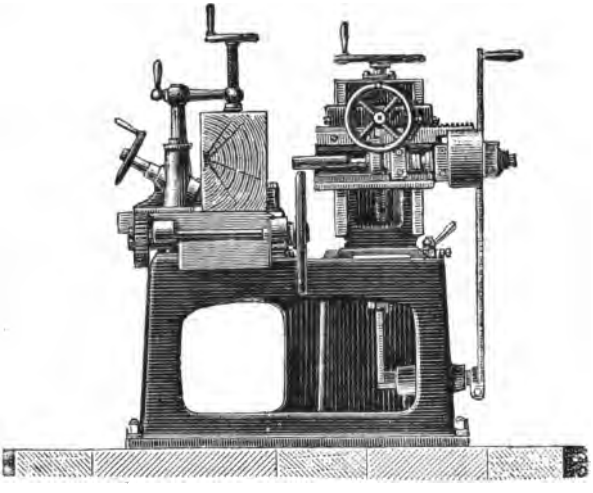


Fig. 92

inclinée sur son axe, lorsque la mortaise règne sur toute la longueur de la pièce ; le travail est trop long, et la netteté de l'arasement moins parfaite que dans le cas précédent.

Les mortaiseuses sont verticales ou horizontales.

Lorsque les pièces à travailler sont de grosses dimensions, il est préférable de déplacer l'outil.

Le bois repose alors sur un tablier fixe ; la mèche à mortaiser est montée sur un triple chariot ; elle peut se déplacer soit horizontalement, soit verticalement en même temps

Digitized by Google

qu'elle avance vers le bois; ces différents mouvements se font à la main (*fig.* 92).

Dans les machines verticales le bois est fixé sur un chariot animé de deux mouvements dans deux sens perpendiculaires; les mèches sont actionnées par un levier mû à la

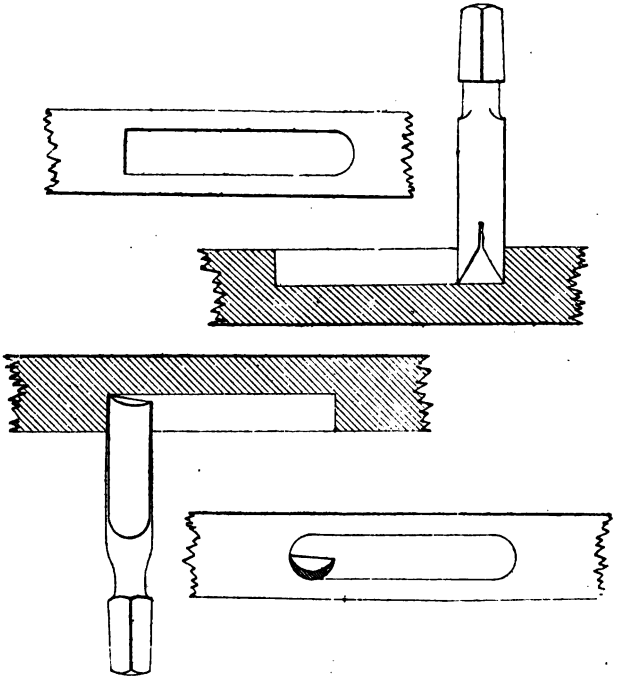


Fig. 93

main ; des tocs mobiles, que l'on déplace à volonté, servent à limiter la course de la pièce.

La figure 93 représente les outils de la machine à mortaiser en travail : c'est, d'une part, la mèche ; d'autre part, le bédane.

Les machines à percer sont très simples; la mèche avance

Digitized by Google

verticalement ou horizontalement ; le bois est porté sur un tablier qu'on peut mettre à hauteur convenable à l'aide d'une manivelle. On combine souvent ces deux outils sur la même machine.

Les mèches font 2.000 tours par minute ; la mèche à simple cuiller est la plus employée ; on peut l'affûter facilement.

Avec un bédane animé d'un mouvement rapide de va-et-vient (600 coups à la minute), on arrive au même résultat. L'inconvénient des mèches est la production de vibrations, lorsque la mortaise atteint une grande profondeur.

65. Moulurage. — Les machines à faire les moulures sont très nombreuses. On distingue : 1° les machines à outil fixe ; 2° les machines à couteau tournant ; 3° les toupies.

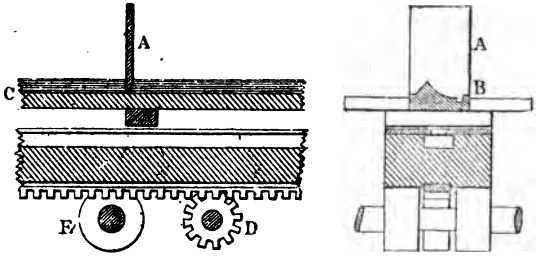


Fig. 94

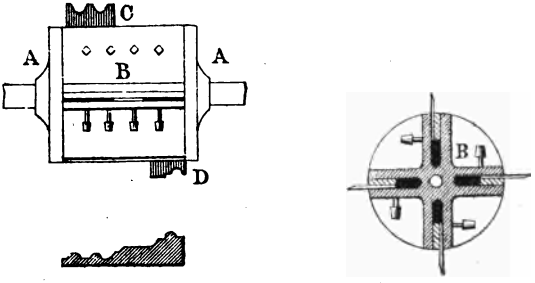
1° Les *machines à outil fixe*, appelées aussi *bancs à tirer*, peuvent fonctionner à bras d'homme ; elles servent à travailler les bois d'ébénisterie. Le profil de la moulure est reproduit en creux par un couteau vertical biseauté A (*fig.* 94) ; il est maintenu dans une glissière verticale et peut se déplacer à volonté. La baguette à moulurer est fixée sur un chariot à crémaillère à pignon D, mise en activité à l'aide d'une manivelle.

Après chaque course du chariot, la mâchoire serrant l'outil fixe est descendue soit à la main, soit automatiquement, et, l'outil pénétrant plus profondément, la moulure s'accentue peu à peu jusqu'à ce que les sinuosités en soient complète-

Digitized by Google

ment accusées sur le bois. Ces machines sont très perfectionnées et permettent d'obtenir des guillochages et des ornements variés. La rectitude en est souvent indispensable pour obtenir des moulures destinées aux meubles, aux pianos, etc.

2° Les *machines à outils rotatifs* offrent l'avantage d'une plus grande production sur les précédentes ; elles sont mues



Fig; 95

mécaniquement. L'arbre porte-outil (*fig.* 95) tourne à une très grande vitesse ; il est muni de quatre mâchoires qui portent les couteaux présentant le profil de la moulure, en fractionnant ce profil en plusieurs couteaux, s'il y a lieu. La pièce à travailler a un mouvement d'avancement continu automatique.

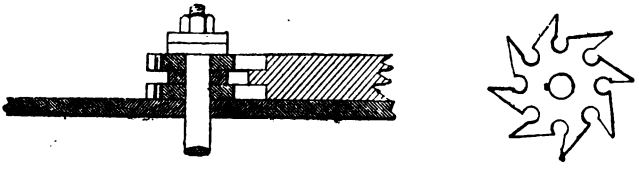


Fig. 96

3° Les *toupies outils*, universellement employées en ébénisterie, comprennent un arbre vertical animé d'un mouvement de rotation rapide, et atteignant 4.000 tours à la minute. L'outil est formé d'une étoile à plusieurs branches (*fig.* 96) dont les extrémités sont convenablement affûtées. La pièce

Digitized by Google

découpée au contour cherché passe devant la toupie, qui fait apparaître la moulure. On peut changer à volonté les profils.

Il faut plusieurs précautions pour obtenir un bon travail de ces outils : un graissage extrêmement énergique ordinairement assuré par les bons constructeurs et l'adjonction d'une deuxième toupie, lorsqu'il devient nécessaire de travailler le bois toujours dans son fil ; cette deuxième toupie tourne en sens inverse de la première.

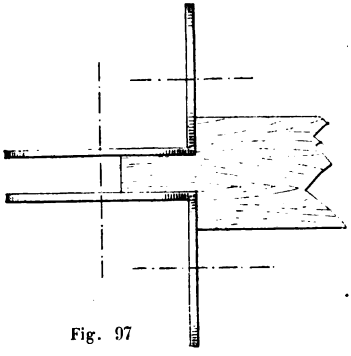


Fig. 97

Ces machines sont l'objet de perfectionnements aussi nombreux que variés ; les résultats obtenus sont positivement merveilleux ; on obtient en quelques instants des panneaux très compliqués et d'un fini extraordinaire.

66. Machines diverses. —*Machines à tenons.*— Les machines à faire les tenons sont quelquefois composées de scies circulaires, les unes refendant, les autres arasant, et qu'il est préférable d'employer pour abattre les tenons sur le bois à fil tranché ; les surfaces obtenues sont assez rugueuses et prennent bien la colle-forte (*fig.* 97).

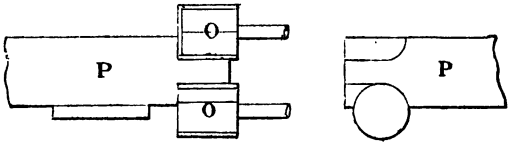


Fig. 98

On emploie plus souvent les *machines à couteaux rotatifs*, dont le travail est très rapide et très net ; elles présentent deux dispositions :

Digitized by Google

1° L'axe de rotation de l'outil est parallèle aux deux faces parallèles du tenon (*fig.* 98); les parties extrêmes du tenon ne sont pas rabotées directement; on combine alors l'emploi des couteaux rotatifs avec celui des scies circulaires qui découpent les tenons avant leur passage à l'outil raboteur (Ransome);

2° L'axe de rotation de l'outil est perpendiculaire aux deux faces parallèles du tenon.

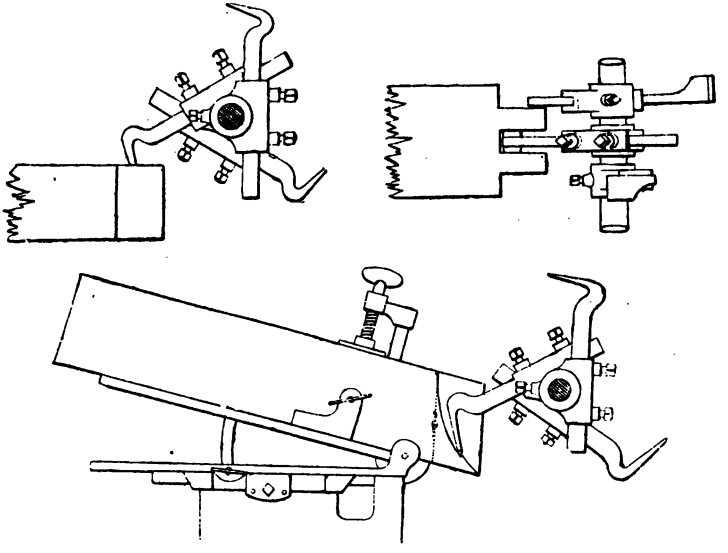


Fig. 99

La figure 99 représente des couteaux rotatifs dont le travail est très régulier et aussi rapide que celui de la machine à mortaiser. Certaines dispositions de couteaux, et leur écartement, qui peut varier rapidement, permettent de ménager des épaulements et des épaisseurs variables. On voit facilement que la forme et la longueur des outils les rendent assez fragiles.

Digitized by Google

M. Bricogne, ingénieur en chef aux Chemins de fer du Nord, a adopté une disposition particulière de porte-outils fort intéressante.

« Les plateaux porte-fers (*fig.* 100) sont armés de trois fers

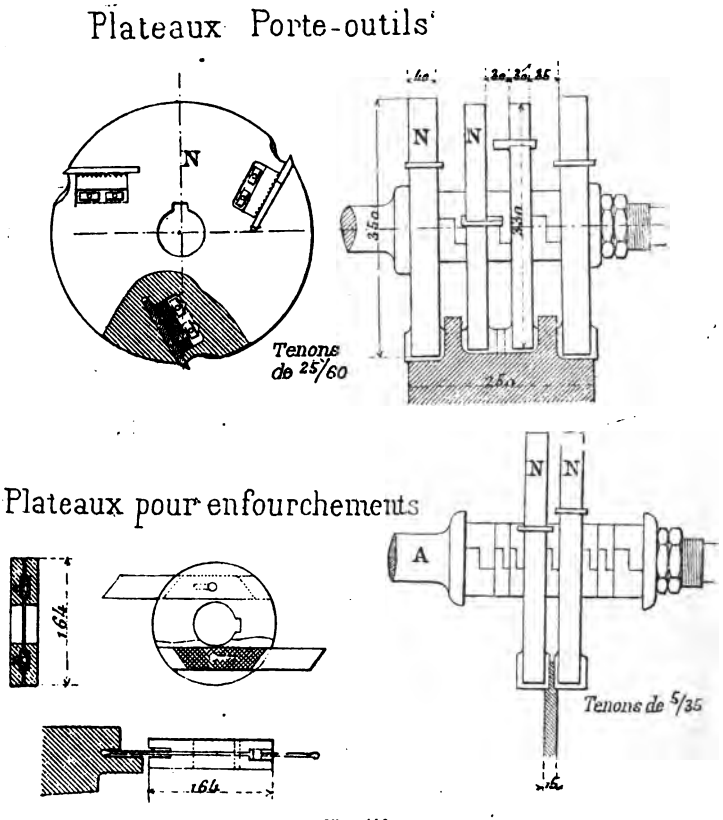


Fig. 100

logés dans trois découpures pratiquées dans les plateaux, indépendantes les unes des autres, mais disposées dans un triangle équilatéral inscrit dans la circonférence des pla-

Digitized by Google

teaux. Ces découpures, de forme rectangulaire, reçoivent, en sus des fers, des cales de pression munies chacune de deux vis à tête terminées par un pointeau ; ces vis prennent leur point d'appui sur le plafond des évidements ; leurs têtes sont percées de quatre trous pour permettre d'exercer un serrage énergique au moyen d'une broche ; il résulte de cette disposition que les fers peuvent être très courts et, par cela même, à l'abri des ruptures. Les plateaux du côté de l'attaque des fers présentent un dégagement curviligne destiné à assurer la projection des copeaux vers l'extérieur de l'outil. »

Cette étude se terminera par une simple nomenclature des appareils à travailler le bois dont la marche repose sur les principes précédemment exposés. Il existe des machines spéciales pour la fabrication mécanique des tonneaux, des roues; des machines à couper le bois d'allumettes et à confectionner les boîtes (dites suédoises); des machines à sabots et à galoches, à paille de bois, à déchiqueter, à faire des navettes, des bobines, des bois de fusil, des boîtes rondes, des crayons, des pavés de bois, etc. ; des tours à ovale et torse ; des machines à copier et à confectionner mécaniquement les tonneaux, etc. L'industrie française des machines à bois est à la tête du progrès et lutte avec avantage contre la concurrence étrangère.

§ 6. — Installation des machines à bois

67. L'atelier d'Hellemmes (Nord) peut être donné comme exemple. Cet atelier renferme (*fig.* 100 *bis* et 100 *ter*) :

1° Une scie à mouvement alternatif *a*, à refendre les madriers ;

2° Une machine à raboter les bois sur quatre faces *b* ;

3° Une scie circulaire *c* ;

4° Une scie à ruban à table mobile *d* ;

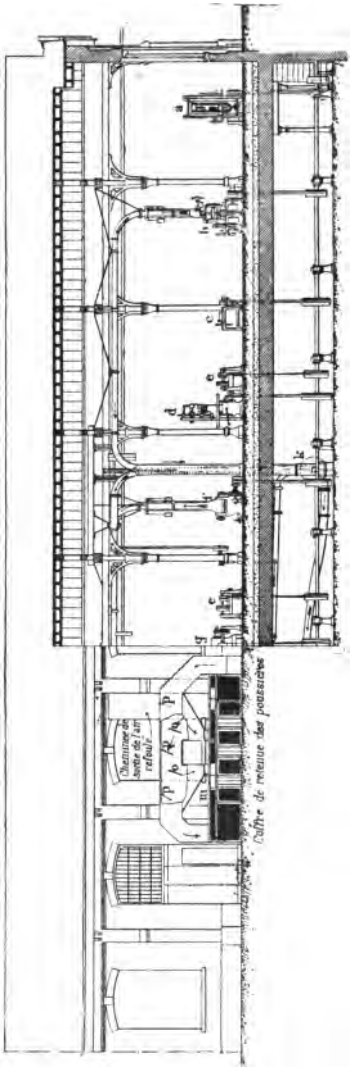
5° Deux machines à mortaiser système Arbey *e* ;

6° Une machine à raboter *f* ;

7° Une machine à tenons système Bricogne *g* ;

8° Une machine-toupie pour la confection des moulures et des feuillures.

Digitized by Google



Elévation EF et coupe longitudinale suivant FGH.

Fig. 100 *bis*

Digitized by Google

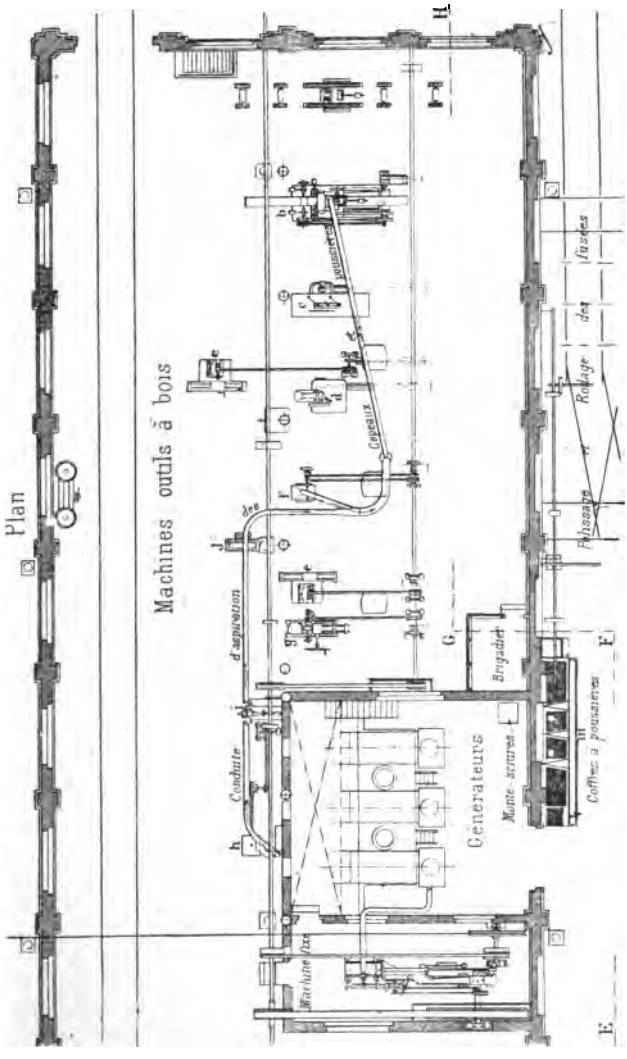


Fig. 100 *ter*

Digitized by Google

Toutes ces machines sont mises en mouvement par un arbre de transmission secondaire installé dans le sous-sol. Cet arbre fait 200 tours.

L'outillage est complété par une machine à affûter les scies circulaires *i*, une meule en grès *j* et un aspirateur K, qui enlève les poussières et les copeaux venant des machines à raboter, des machines à tenons et à toupie. L'aspirateur débite 200 mètres cubes d'air par minute ; il reçoit les conduits établis au-dessus de chaque machine, conduits disposés de manière à permettre la visite et le remplacement des fers. Pour la machine à tenons qui projette les copeaux et les poussières de haut en bas, le conduit aboutit au-dessous même de la machine et vient se brancher dans le sous-sol sur le conduit principal.

Par la force d'aspiration, les copeaux et les poussières se réunissent dans la conduite principale, d'où ils se rendent dans la chambre de vide de l'aspirateur et passent dans la roue à ailettes, qui les refoule dans la chambre spéciale à copeaux, d'où ils sont extraits pour être conduits aux générateurs de la machine fixe. (Ch. Bricogne, *Revue des Chemins de fer.*)

Presque toutes les installations industrielles ont une commande par dessous ; ce système a l'avantage de supprimer les chaises ; l'atelier est entièrement dégagé, et l'accès des outils est commode ; il atténue les vibrations. Les machines sont complètement indépendantes de l'édifice.

L'inconvénient réside dans les frais de premier établissement, qui sont plus élevés que dans le cas de la commande par dessus.

Il est très important que les chaudières puissent brûler facilement tous les déchets du bois ; c'est à la fois une économie et un moyen très simple de s'en débarrasser. En général, on peut admettre qu'une scierie bien étudiée et bien conduite, possédant un bon moteur, n'a pas besoin de charbon : les déchets suffisent.

Les machines doivent être visitées et nettoyées au moins une fois par semaine, et toujours entretenues en bon état ; il est de toute évidence, en effet, que des machines tournant à 4.000 tours et plus par minute et marchant continuellement

Digitized by Google

dans la poussière et les copeaux exigent plus que toutes autres d'être parfaitement entretenues.

L'atelier d'affûtage et de réparation, qui servira en même temps de magasin d'outils, sera dans un local particulier ; on le placera avec avantage près de la machine à vapeur qui, par sa chaleur, garantira de la rouille les objets qui y seront remisés.

Il est de règle générale aujourd'hui d'isoler complètement le bâtiment destiné au moteur ; dans le cas où cette condition ne pourrait pas être réalisée, on fera pour le moteur un compartiment qui n'ait aucune communication directe avec l'intérieur de l'atelier, et soit séparé de celui-ci par un mur en maçonnerie.

La machine motrice sera, autant que possible, à grande vitesse, afin de pouvoir actionner directement la transmission principale de l'atelier; son régulateur devra être suffisamment sensible pour que l'embrayage ou le débrayage d'un ou plusieurs outils n'ait pas sensiblement d'influence sur la marche des autres.

On s'attachera à prendre une machine économique, c'est-à-dire à détente, et, si l'on a de l'eau en quantité suffisante à sa disposition, on la choisira à condensation.

Digitized by Google

CHAPITRE IV

RÉSISTANCE ET ESSAIS DES BOIS

§ 1. — Résistance à la traction

68. La théorie ne peut pas donner de formules pratiques pour calculer la résistance du bois dans les conditions diverses de son travail; cette substance est, en effet, de composition trop variable; c'est surtout sur la pratique que l'on s'est appuyé pour trouver les chiffres divers indiqués ci-après.

Différentes pièces de charpente sont soumises à des efforts d'extension longitudinale, les entraits des combles, par exemple; on peut, connaissant l'effort auquel elles sont soumises, calculer leur section par la formule simple :

$$S = \frac{T}{R},$$

T étant l'effort d'extension exprimé en kilogrammes; R, la résistance à l'extension du bois employé, exprimée en kilogrammes par centimètre carré; la section S obtenue sera donnée également en centimètres carrés.

Poncelet donne les nombres suivants pour la résistance à l'extension dans le sens des fibres :

Digitized by Google

DÉSIGNATION	Traction de rupture par cm^2	Traction de sécurité par cm^2
Chêne	600 à 800 kg.	60 à 80 kg.
Sapin	800 à 900	80 à 90 »
Tremble	600 à 700	60 à 70 »
Frêne	1.200	120 »
Orme	1.040	104 »
Hêtre	800	80 »
Teak	1.100	110 »
Buis	1.400	140 »
Poirier	690	69 »
Acajou	560	56 »

La charge de sécurité doit être prise égale au 1/10 de la charge de rupture ; on prend généralement 60 kilogrammes pour le sapin qui est toujours de qualité variable.

Lorsque les efforts d'extension sont appliqués perpendiculairement aux fibres la résistance diminue considérablement; aussi le même auteur donne-t-il dans ces conditions :

	Traction de rupture par cm^2	Traction de sécurité par cm^2
Chêne	160 kg.	16 kg.
Peuplier	125	12,5

§ 2. — Résistance à la compression. — Poteaux en bois

69. Lorsque les bois sont soumis à des efforts de compression dans le sens des fibres, il faut tenir compte dans leur calcul du rapport de la longueur de la pièce à celle de la section.

Rondelet a fait de nombreuses expériences de rupture sur des pièces comprimées longitudinalement. En prenant pour unité la résistance d'un cube de chêne à l'écrasement, il a donné le tableau suivant pour la résistance des poteaux en bois (chêne) :

Rapport r	1	12	24	46	48	60	70
Résistance proportionnelle	1	5/6	1/2	1/3	1/6	1/12	1/24
Charge permanente en kil.	60	50	30	20	10	5	2k5

Digitized by Google

En partant de ces résultats, le général Morin a trouvé, à l'aide d'une courbe, les rapports intermédiaires qui sont figurés dans le tableau page 91.

Ce tableau est calculé en prenant comme charge permanente le 1/7 de la charge de rupture. Pour les poteaux en sapin, on multiplie les résultats par 2/3.

D'après Hodgkinson, on peut prendre la formule suivante pour le calcul des poteaux en bois dont la longueur varie entre trente fois et quarante-cinq fois le plus petit côté de la section :

$$P = m\frac{a^4}{h^2}, \text{ section carrée ;}$$

$$P = m\frac{ab^3}{h^2} \quad \text{— rectangulaire.}$$

P représente en kilogrammes la résistance à la rupture du poteau ;

a le côté de la section carrée, ou le plus petit côté de la section rectangulaire en centimètres ;

b le grand côté de la section rectangulaire en centimètres ;

h la hauteur du poteau en décimètres ;

m est un coefficient variable suivant la nature du bois :

m = 2565 pour le chêne fort;
= 1800 — — faible ;
= 2142 — sapin rouge ou le pin résineux;
= 1660 — — blanc ou le pin jaune.

Les résultats que donne cette formule sont concordants avec ceux de Rondelet dans les limites données ci-dessus. Navier et Dulong avaient démontré théoriquement que les résistances à l'écrasement sont proportionnelles à :

$$\frac{a^4}{h^2}, \frac{ab^3}{h^2}, \frac{d^4}{h^2},$$

selon que la section du poteau est carrée, rectangulaire ou circulaire.

Digitized by Google

TABLEAU DONNANT LES CHARGES PERMANENTES QUE PEUT SUPPORTER UN POTEAU DE CHÊNE DE SECTION CARRÉE ET DE HAUTEUR l

Rapport r...			12	14	16	18	20	22	24	28	32	36	40	48	60	72
Charge permanente..			4 4k,3	42,0	39,4	37,0	35,0	32,7	30,0	26	22	19,1	15,4	10,2	5.4	2,5
COTÉ	SECTION															
10c	100cm2	L	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	4.80	6.00	7.20
		P	4 430	4 200	3 940	3 700	3 500	3 270	3 000	2 600	2 200	1 910	1 540	1 020	540	250
15	225	L	1.80	2 10	2.40	2.70	3 00	3.30	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	7.20	9.00	10 80
		P	9 968	9 450	8 865	8 325	7 875	7 358	6 750	5 850	4 950	4 298	3 465	2 295	1 215	563
20	400	L	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80	5.60	6 40	7.20	8.00	9.60	12.00	14.40
		P	17 720	16 800	15 760	14 800	14 000	13 080	12 000	10 400	8 800	7 640	6 160	4 080	2 160	1 000
25	625	L	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5 50	6.00	7.00	8.00	9.00	10 00	12.00	15.00	18.00
		P	27 688	26 250	24 625	23 125	21 875	20 438	18 750	16 250	13 750	11 938	9 625	6 375	3 375	1 560
30	900	L	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	8.40	9.60	10.80	12.00	14.40	18.00	21.60
		P	39 870	37 800	35 460	33 300	31 500	29 430	27 000	23 400	19 800	17 190	13 800	9 180	48 60	22 50
35	1225	L	4.20	4.90	5.60	6.30	7.00	7.70	8.40	9.80	11.20	12.60	14.00	16.80	21.00	»
		P	54 268	51 450	48 265	45 325	42 875	40 058	36 750	31 850	26 950	23 398	18 865	12 495	6 615	»
40	1600	L	4.80	5.60	6.40	7.20	8.00	8.80	9.60	11.20	12.80	14.40	16.00	19.20	24.00	»
		P	70 880	67 200	63 040	59 200	56 000	52 320	48 000	41 600	35 200	30 560	24 640	16 320	8 640	»

Digitized by Google

Le tableau suivant donne les résistances à l'écrasement pour les différentes essences de bois :

RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT DES DIFFÉRENTS BOIS

ESSENCE DES BOIS	RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT par cm^2		ESSENCE DES BOIS	RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT par cm^2	
	Bois à l'état ordinaire	Bois très sec		Bois à l'état ordinaire	Bois très sec
Aulne	480	489	Chêne de Québec.	297	421
Peuplier	218	360	— anglais	456	707
Frêne	610	658	— de Dantzig.		543
Prunier	579	737	Pin résineux	477	477
Laurier	528	528	— jaune	378	383
Sycomore	498	»	— rouge	379	528
Hêtre	543	658	Sapin rouge	404	463
Teak		850	— blanc	477	513
Bouleau d'Amérique		820	Orme	»	726
Sureau	524	701	Horn-Beam	319	512
— d'Angleterre	232	450	Acajou	576	576
Saule	203	431	Noyer	426	508
Cêdre	399	412	Pommier sauvage	457	502

Compression transversale. — Lorsque la compression tend à serrer les fibres les unes contre les autres, les chiffres relatifs à la résistance sont différents. Les expériences faites ont donné des résultats peu précis. Tredgold indique 108 kilogrammes par centimètre carré pour la résistance du chêne ; 70 kilogrammes par centimètre carré, pour le sapin. On admet pour charge de sécurité le 1/10 de charge de rupture.

§ 3. — Résistance à la flexion. — Limite d'élasticité Torsion

70. Tableau donnant la tension maximum en kilogrammes par centimètre carré qui se produit lors de la rupture sur la fibre la plus éloignée de l'axe :

Digitized by Google

Désignation des bois	Tension en kgr.	Désignation des bois	Tension en kgr.
Acacia	1.093	Noyer	732
Bois de fer	1.050	Orme	707
Chêne maigre	690	Pin de Corse	806
— gras	470	— sylvestre	633
— de Provence	459	Platane	671
— liège	682	Sapin	530
Frêne	1.186	Teak	836
Gaïac	1.771	Tilleul	648
Mélèze	590		

On admet comme charge de sécurité à la flexion le 1/10 de la charge de rupture.

La flexion est, de toutes les déformations que peut subir une pièce de bois chargée, celle qui donne lieu aux phénomènes les plus apparents : ces pièces prennent des flèches différentes sous l'action de charges variables : on doit donc les calculer exactement comme les poutres de pont.

71. On appelle **charge limite d'élasticité** l'effort rapporté à l'unité de surface à partir duquel les déformations permanentes commencent à devenir appréciables.

On appelle ***coefficient d'élasticité*** E le quotient du rapport de l'effort P qui tend à allonger la tige à l'allongement produit Δi :

$$E = \frac{P}{\Delta i};$$

pour un allongement $\Delta i = 1$ mètre, on aurait :

$$E = P;$$

c'est donc encore la charge qui serait nécessaire pour doubler la longueur de la tige, en admettant toutefois que la proportionnalité entre les charges et les allongements s'applique jusqu'à cette limite.

Le coefficient d'élasticité diminue, pour le bois, à mesure que l'âge des arbres augmente ; la limite d'élasticité s'élève avec l'état de dessiccation à l'air.

Digitized by Google

LIMITE D'ÉLASTICITÉ DE QUELQUES BOIS (CHARGE EN KILOGRAMMES PAR MILLIMÈTRE CARRÉ)

	Bois vert	Bois séché à l'air
Bouleau	0kg,761	1kg,617
Orme	0 987	1 842
Chêne	»	2 349
Frêne	1 726	2 029
Aulne	1 449	1 809
Tremble	2 302	3 082

COEFFICIENT D'ÉLASTICITÉ DE QUELQUES BOIS RAPPORTÉ AU MÈTRE CARRÉ

Acacia	1kg,261 × 10⁹	Noyer	0kg,70 × 10⁹
Aulne	1 108 × 10⁹	Orme	1 165 × 10⁹
Bois de fer	0 82 × 10⁹	Peuplier	0 517 × 10⁹
Chêne maigre	0 94 × 10⁹	Pin des Landes	1 32 × 10⁹
— gras	0 86 × 10⁹	— sylvestre	1 09 × 10⁹
Chêne vert	0 70 × 10⁹	Platane	0 97 × 10⁹
Erable	1 021 × 10⁹	Sapin des Alpes	1 09 × 10⁹
Frêne	1 121 × 10⁹	— Suède	0 78 × 10⁹
Gaïac	1 17 × 10⁹	Teak	1 06 × 10⁹
Hêtre	0 950 × 10⁹	Tilleul	0 85 × 10⁹

Torsion. — La résistance à la torsion par centimètre carré est pour les bois de :

Chêne	2kg,800	Sapin	2kg,408
Erable	4 780	Hêtre	3 210

§ 4. — Essais des Bois. — Spécification

72. Les grandes variations de résistance que l'on constate dans des bois de même espèce montrent qu'il est utile de vérifier dans chaque cas particulier les résistances à la compression et à l'extension d'un échantillon donné. Ces essais se font de la même façon que pour les métaux et sur les mêmes appareils. L'utilité de ces essais est, toutefois, très relative; il est rare qu'un praticien se trompe sur la qualité de tel ou tel bois; dans les grandes entreprises de charpente et de menuiserie les agents chargés de la réception des bois se bornent

Digitized by Google

à refuser les pièces qui ne remplissent pas toutes les conditions imposées par le devis.

Dont suivent deux extraits différents:

Extrait du devis type arrêté par le Ministère des Travaux publics. — « Les bois de fortes et de moyennes dimensions, les palplanches et les madriers seront en chêne ou en sapin, selon les prescriptions ; ils seront abattus en bonne saison, depuis un an au moins pour les charpentes. L'abatage des pins pour pieux et pilotis dans l'eau sera récent.

« Ils seront de droit fil, ni échauffés, ni gras, sans malandre, aubier, roulures, gélivures, nœuds vicieux, pourritures et autres défauts ;

« Ils seront approvisionnés, autant que possible, sous des hangars, et, dans tous les cas, empilés sur cales, de manière que leurs surfaces ne touchent pas la terre et ne se touchent pas entre elles.

« Les bois qui seront employés en menuiserie auront au moins trois années de coupe.

« Les bois de charpente seront de deux qualités :

« Ceux de premier choix seront parfaitement dressés, équarris à vive arête sans aucune flache, ni aubier, exempts de toute espèce de défauts et d'imperfections ;

« Ceux de deuxième choix seront en bois équarris, tels qu'ils sont généralement livrés au commerce.

« Les bois employés pour services temporaires comme cintres, ponts provisoires, batardeaux, etc., pourront n'être pas neufs, mais seront de qualité convenable pour l'objet auquel on les destine. »

Spécification pour les bois de menuiserie employés à la Compagnie des Chemins de fer du Nord. — « Les bois seront de premier choix, sans gros nœuds, sans nœuds vicieux, roulures, malandres, aubier et autres défauts; ils seront pris dans des pièces de fort équarrissage ayant au moins un an de coupe, puis un an de débit en plateaux, s'ils ont été débités à l'approche de l'hiver ; avec tolérance de six mois s'ils ont été débités en avril ou en mai, ou s'ils sont pris dans des pièces flottées ; mais encore, et suivant les circonstances, la Compagnie se réserve le droit d'apprécier l'application de cette dernière condition.

Digitized by Google

« Dans l'un ou l'autre cas, les bois ne pourront être employés à la construction que s'ils ont été fumés à l'étuve où ils devront être introduits une fois débités aux sections d'emploi, majorées d'un centimètre dans les deux sens pour pouvoir tenir compte des déformations qui peuvent se produire pendant le traitement.

« Au sortir de l'étuve, ils devront rester au moins trois mois convenablement empilés sur tringles, pendant les mois de mars à septembre, dans un endroit exposé aux courants d'air, et, pendant les mois d'octobre à février, dans un endroit fermé et chauffé à 18 ou 20°.

« Les bois ainsi traités seront disposés de façon à ce que les bois fumés les premiers puissent être les premiers mis en œuvre. »

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

MÉTAUX

CHAPITRE I

NOTIONS GÉNÉRALES DE MÉTALLURGIE

§ 1. — Fonte. — Fer. — Acier. — Généralités : Minerais Fondants, Combustibles

73. Depuis un siècle environ on admet que les trois produits, fer, fonte, acier, ne diffèrent entre eux que par leur richesse en carbone. Aussi appelle-t-on :

1° *Fer*, un produit qui contient moins de 0,2 0/0 de carbone. C'est un métal dur, malléable, soudable, *insensible à l'action de la trempe*, fondant à une température de 1.500 à 1.600° ;

2° *Acier*, un produit contenant de 0,3 à 1,5 0/0 de carbone, métal dur, malléable à chaud et à froid, souvent soudable, plus fusible que le fer, et durcissant par la trempe ;

3° *Fonte*, un alliage de fer et de carbone, où celui-ci varie de 1,5 à 5 0/0. C'est un métal facilement fusible, très variable comme dureté, cassant à chaud et à froid.

Cette classification a donné lieu, depuis l'apparition des nouveaux métaux fondus (métaux Bessemer, Martin) à des confusions regrettables. On donne, en effet, bien à tort, le nom d'acier à des produits qui ne sont, le plus souvent, que des fers fondus plus ou moins doux.

Il est intéressant de connaître, à titre de renseignement,

Digitized by Google

puisque la pratique n'a pas encore sanctionné ce vœu, les résolutions prises par un Comité international, constitué, à Philadelphie, dans le but d'uniformiser la nomenclature des produits obtenus :

1° Tout composé ferreux malléable, comprenant les éléments ordinaires de ce métal, et obtenu soit par la réunion de masses pâteuses, soit par paquetage, ou par tout autre procédé n'impliquant pas la fusion, et qui, d'ailleurs, ne durcit pas sensiblement (?) par la trempe, bref, tout ce que l'on a jusqu'à aujourd'hui désigné sous le nom de fer doux, sera appelé à l'avenir *fer soudé;*

2° Tout composé analogue qui, par une cause quelconque, durcit sous l'action de la trempe et fait partie de ce qu'on appelle aujourd'hui acier naturel, acier de forge ou, plus particulièrement, acier puddlé, sera appelé *acier soudé;*

3° Tout composé ferreux, malléable, comprenant les éléments ordinaires de ce métal, qui aura été obtenu et coulé à l'état fondu, mais qui ne durcit pas sensiblement (?) sous l'action de la trempe, sera appelé *fer fondu ;*

4° Tout composé pareil qui, pour une cause quelconque, durcit sous l'action de la trempe, sera appelé *acier fondu.*

Tout ceci est théorique : pour être bien fixé sur la valeur de tel ou tel produit, l'industriel devra procéder à des essais qui lui donneront la résistance à la traction, à l'écrasement, au choc, la limite d'élasticité du métal, et à des épreuves mécaniques, à chaud et à froid : pliage, soudage, etc. C'est ce qui sera traité en détail au chapitre VI.

74. Généralités. — Avant de passer à l'étude de la fabrication de la fonte, il est bon de rappeler en quelques mots quelles sont les matières premières employées pour l'obtenir et d'indiquer les quelques opérations préparatoires qu'elles subissent avant d'être mises en œuvre.

Minerais. — On en distingue cinq classes : 1° Minerais oxydés; 2° minerais hydratés; 3° minerais carbonatés; 4° minerais oxydulés; 5° minerais silicatés. On doit leur adjoindre les déchets d'usine (scories de forge, de réchauffage, laitiers des fours à puddler et des convertisseurs), et les minerais de manganèse (*acerdèse*, *knebelite*) et de chrome,

Digitized by Google

qui sont utilisés pour la production d'aciers spéciaux.

En France, en particulier, on trouve les minerais en grains du Berry (*fer peroxydé hydraté*), les minerais oolithiques et phosphoreux de l'Est (*id.*); le fer carbonaté spathique (*Allevard*), etc.

Les métallurgistes classent les minerais d'après leur teneur en fer, leur pureté, leur état physique; ils distinguent les minerais supérieurs, améliorants, phosphoreux et ordinaires.

A leur sortie de la mine, les minerais subissent plusieurs opérations physiques, qui sont : 1° un *cassage*, effectué dans des bocards ou des concasseurs ; 2° un *triage*, ayant pour but d'éliminer les impuretés et les gangues stériles ; 3° un *lavage*, qui enlève les parties terreuses du minerai. On a quelquefois recours à l'*agglomération* pour les produits tels que les crasses de marteaux et de laminoirs. L'agglomérant, dans ce cas, sert de fondant.

Lorsqu'on a besoin d'opérer certaines transformations chimiques des produits étrangers contenus dans un minerai, on a recours à un *grillage*. Le grillage a pour but de chasser le soufre et l'arsenic d'un minerai pyriteux, ou d'éliminer l'eau ou l'acide carbonique (*minerais carbonatés*), ou encore de rendre plus perméables aux agents de réduction des minerais compacts. Ces grillages se font à l'air ou dans des fours à cuve spéciaux.

La *macération* consiste à laisser à l'air pendant un temps assez long, plusieurs années quelquefois, des minerais grillés en tas. Les sulfures se transforment en sulfates, les arséniures en arséniates solubles; on lave pour activer l'opération.

Fondants. — Pour former le lit de fusion, le fondeur ajoute dans les charges du haut-fourneau des *fondants* variables suivant les localités et le prix d'achat. La *craie*, ou *castine*, est un fondant calcaire; on l'emploie crue ou cuite. Le *calcaire marneux* contient de la silice et de l'alumine; la *dolomie* est employée quand on a besoin de magnésie. Le *spath fluor* aide à fondre les silicates peu fusibles; on se sert d'argile, quand on a besoin d'alumine, de *quartz*, comme fondant siliceux.

Combustibles. — On ne se sert plus guère de charbon de

Digitized by Google

bois dans le haut-fourneau, que pour la fabrication des fontes de moulage de grande résistance, ou de celles destinées à être transformées en aciers fins à outils ; il ne contient presque pas de matières étrangères et donne des produits d'une grande pureté ; le *bois torréfié* en bûchettes de $0^m,20$ de longueur est employé très rarement aussi ; ces deux combustibles coûtent cher.

Le *coke métallurgique* doit être compact pour pouvoir résister à l'écrasement (cette compacité oblige à augmenter la pression du vent aux tuyères) ; il doit contenir le moins possible d'humidité et de cendres. Le soufre du coke passe partie dans la fonte, partie dans le laitier ; la silice peut se combiner à la fonte. On se sert de fours spéciaux pour fabriquer le coke métallurgique (fours Appolt, Smet, Coppée, Bauer).

En Angleterre et aux États-Unis, on emploie également l'anthracite dans les opérations métallurgiques.

§ 2. — Fabrication de la fonte

75. Haut-fourneau et accessoires. — Un haut-fourneau se compose essentiellement de deux troncs de cône réunis par leur grande base et placés au-dessus d'une partie cylindrique.

La petite base supérieure se nomme le *gueulard ;* puis, vient la *cuve*. Le *ventre* forme la grande base ; au dessous, jusqu'aux tuyères, on a les *étalages* et l'*ouvrage* ; puis, enfin, le *creuset*, dont l'ouverture est fermée par la *dame*. On nomme *rustine* la face opposée à la dame, et *costières* les deux faces de l'ouvrage sur lesquelles sont placées les tuyères (*fig.* 101).

La capacité d'un haut-fourneau dépend de la quantité de fonte à produire dans un temps donné, de la richesse des minerais, du combustible, de la venue du vent. Pour établir cette capacité, on procède par comparaison avec les hauts-fourneaux existants ; en s'attachant à produire une fonte donnée, il y a une production journalière maximum qui dépend de la section de l'ouvrage.

Le *diamètre de l'ouvrage* est donc le premier point à

Digitized by Google

déterminer ; sa section est d'autant moindre que le minerai est plus riche et plus facilement réductible ; on dépasse rarement $0^m,20$.

Coupe verticale

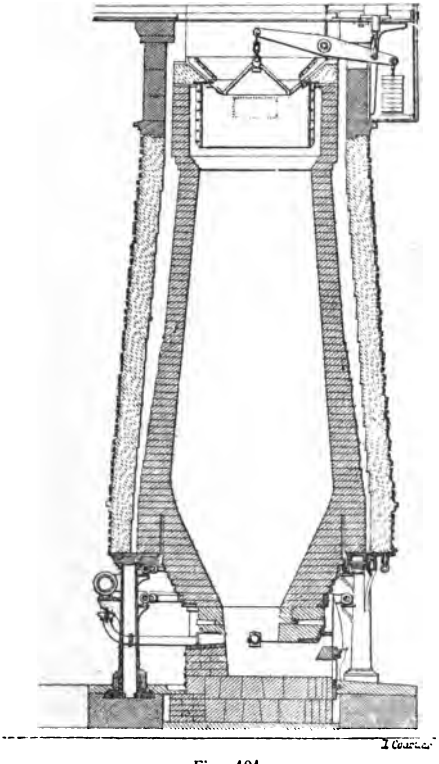


Fig. 101

La *hauteur du haut-fourneau* dépend de tous les facteurs cités plus haut, et plus spécialement du combustible employé et de la résistance du minerai à l'écrasement. Pour

Digitized by Google

le charbon de bois la hauteur varie de 7 à 10 mètres ; pour le charbon de bois et le coke, de 10 à 15 mètres; pour le coke léger, de 15 à 20 mètres ; pour le coke dur, 30 mètres ; pour l'anthracite, 20 à 22 mètres.

Hauteur et diamètre du ventre. — Les hauts-fourneaux ont toujours comme profil une surface de révolution ; le diamètre du ventre ne doit pas dépasser le tiers de la hauteur totale, ni être au-dessous du cinquième ; selon que le diamètre est grand, moyen ou petit, on dit que le fourneau est *trapu, ordinaire, élancé.* La hauteur du ventre est comprise entre le tiers et la moitié de la hauteur totale.

Étalages. — Les *étalages* et l'*ouvrage* ont souvent, tous les deux, la même pente comprise entre 65 et 75° ; des étalages plats occasionnent des retards dans la descente des minerais. La hauteur de l'ouvrage varie, pour les fontes grises, entre 1 mètre et $1^m,50$; pour les fontes blanches, de $0^m,75$ à $1^m,25$.

Creuset. — Il dépend naturellement de la capacité du haut-fourneau ; la hauteur varie de $0^m,50$ à $1^m,25$, selon la quantité de fonte qu'il doit contenir ; il faut tenir compte, en effet, du refroidissement. On lui donne comme diamètre celui de l'ouvrage aux tuyères. Quand on a un avant-creuset, il ne dépasse pas les deux tiers du diamètre du creuset.

Tuyères. — Elles sont en nombre variable et placées de différentes façons, selon les dimensions du haut-fourneau. On a essayé de mettre deux étages de tuyères ; la zone de combustion se trouve plus élevée, et la chaleur se répartit mal ; aussi y a-t-on renoncé.

Gueulard et cuve. — Le diamètre du gueulard est toujours plus grand que la moitié de celui du ventre. L'inclinaison de la cuve varie de 2°,5 à 5°. Un trop grand diamètre rend le chargement difficile. On dispose toujours à la partie supérieure du haut-fourneau des appareils de prise de gaz ; on utilise de cette manière les gaz combustibles autrefois perdus ; on s'en sert pour le chauffage des chaudières des machines soufflantes ; on compte, en moyenne, une surface de chauffe de $1^{m2},50$ à $1^{m2},80$ par cheval-vapeur à obtenir.

La *température* du vent envoyé aux tuyères varie de 400 à 450° ; elle atteint quelquefois 700°. Ce vent est chauffé dans

Digitized by Google

des appareils spéciaux dits *appareils à chauffer le vent;* on en distingue des types nombreux; les plus employés actuellement sont les appareils *Whitwell et Cowper :* ce sont de vastes chambres en tôle doublées de briques réfractaires; les gaz chauffent ces briques, qui emmagasinent de la chaleur; l'air froid circule en sens inverse et s'échauffe. Ces appareils fonctionnent par périodes : deux heures au gaz, une heure au vent; il en résulte la nécessité d'avoir trois appareils au moins; la chute de température des briques ne doit pas dépasser 50°.

La *pression* du vent est de 3 à 6 centimètres de mercure pour le charbon de bois; 6 à 7 centimètres, pour le coke léger; 12 à 20, pour le coke dur; 25 à 50, pour l'anthracite. La quantité de vent à injecter par kilogramme de charbon est de $4^{m3},10$; pratiquement, il faut $5^{m3},5$.

76. Construction. — Le haut-fourneau se compose d'une chemise réfractaire entourée d'un revêtement extérieur nommé *masse;* le tout repose sur une fondation solide ou *massif*, généralement en pierre ou brique; on laisse souvent dans ce massif des carneaux pour le séchage et l'aération.

Sole. — La sole repose sur le massif; elle se construit en matériaux réfractaires et en briques. La pierre de Huy, d'une épaisseur d'assise de $0^{m},70$, est quelquefois employée; mais il faut de grands ménagements quand on procède au séchage. On se sert plus souvent de briques réfractaires posées à plat ou de champ sur une assise en sable réfractaire soigneusement pilonné; l'épaisseur de la sole peut atteindre $1^{m},20$; les joints des briques doivent être aussi serrés que possible. Les soles en pisé ne réussissent pas.

Le *creuset* se fait par assises cylindriques avec un seul modèle de briques, la longueur de queue variant seule; le trou de coulée se garnit de briques spéciales. On construit ensuite l'*ouvrage* et les *étalages;* le raccord avec la *cuve*, que l'on construit à part, doit être très soigné; on doit toujours laisser un jeu de 1 à 2 centimètres pour la dilatation de la partie inférieure. Le creuset et les étalages sont garnis extérieurement d'armatures métalliques; les étalages sont frettés avec des cercles en fer, ou recouverts d'une enveloppe en tôle;

Digitized by Google

on dispose des jets d'eau pour refroidir les matériaux.

Les *tuyères* sont logées dans des *chapelles* à circulation d'eau; elles sont en fer forgé; la construction en est très difficile; on en fait en métal moulé; le bronze phosphoreux est également très employé.

La *cuve* et le *manteau* se construisent à part. La base du haut-fourneau doit être d'un accès facile; lorsqu'elle est en maçonnerie, on y ménage des ouvertures nombreuses; on la forme plus souvent de piliers, ou de colonnes, sur lesquels on fait reposer une *marâtre*, couronne en fonte sur laquelle on vient faire reposer le manteau et la chemise réfractaire. Les *manteaux* en maçonnerie sont armés de cercles en fer plat, dont la libre dilatation est assurée par l'intercalation de joints d'extension, formés par des anneaux de section moindre. On réunit plusieurs cercles ensemble, pour éviter les accidents dus aux ruptures qui pourraient se produire lors de la mise en marche. On a remplacé ces frettes par des manteaux en tôle, qui sont constitués par des viroles rivées; l'intervalle entre la tôle et la chemise réfractaire est rempli de craie ou de plâtre, ou de toute autre matière compressible, du foin, par exemple, qui se carbonise lors de la mise en feu du haut-fourneau.

La *chemise* réfractaire est indépendante des étalages; on la construit souvent la première; elle dure plusieurs campagnes, alors que les étalages n'en font qu'une. On emploie pour la confection de la chemise des briques de différents modèles; les assises ont de $0^m,10$ à $0^m,15$ d'épaisseur. Pour mettre les briques en place, on dispose dans l'axe du fourneau un mât tournant dans une crapaudine; sur ce mât est fixé le gabarit du fourneau; on place les briques sans les fixer; on s'assure avec le gabarit qu'elles vont bien; on les plonge alors, en les tenant horizontalement, dans une auge contenant du mortier réfractaire; on fait les joints aussi minces que possible.

Séchage. — La construction terminée, on procède au séchage, en installant un foyer dans l'embrasure de la coulée; puis, on fait une grille provisoire, sur laquelle on brûle du bois sec; on rapproche progressivement la grille de la

Digitized by Google

partie supérieure de la cuve ; il faut environ vingt-cinq à trente jours pour terminer le séchage. Quand la sole est en pierre de Huy, on intercale un placage en briques réfractaires, pour garantir la pierre contre les coups de feu.

77. Marche du haut-fourneau. — Pour *mettre en feu*, on dispose dans le creuset une grille formée de pièces de bois assemblées, sur laquelle on accumule du charbon de bois ou du bois bien sec, sur une hauteur de $1^m,50$ à 2 mètres; on introduit ensuite, à l'aide de poulies, du coke bien pur sur une hauteur de 1 mètre à $1^m,50$; on met une couche de castine ; puis, on commence à descendre les charges régulières de matières, charbon et castine; on place, vers la moitié du fourneau, trois ou quatre briques réfractaires, qui servent de témoins ; la quantité de minerai contenue dans les charges croît très lentement ; on arrive ainsi jusqu'au haut du fourneau.

On procède à l'allumage, l'avant-creuset étant bouché, et le gueulard ouvert pour qu'il se produise un tirage ; on le bouche ensuite pour laisser couver le feu ; l'air pénètre par un carneau qu'on a eu soin de ménager dans le creuset ; on attend vingt-quatre heures ; puis, on passe par les tuyères opposées une barre de fer ; on en met une en travers dans l'avant-creuset ; puis, à l'aide de ringards pointus qui s'appuient sur ces deux supports, on constitue une *grille ;* on débouche l'avant-creuset, et on enlève les cendres ; un violent tirage se produit ; les ringards se tordent et tombent ; on retire la grille, on referme le creuset, et on laisse le feu couver ; les grilles se rapprochent. On met le vent au bout de quelques jours. Peu à peu il coule de la fonte dans le creuset, on procède à la coulée et on nettoie ; on rebouche le trou de coulée, etc.

Cette méthode est trop longue ; aujourd'hui, on remplit le fourneau (quarante-huit heures), on allume, et on met le vent au bout de vingt-quatre heures, à faible pression. Au bout d'une semaine, on est en marche normale. Il ne faut pas aller plus vite ; on a essayé d'allumer le haut-fourneau avant de l'avoir complètement rempli ; mais il se produit des explosions dans la cuve ; aussi y a-t-on renoncé.

Digitized by Google

78. Charges. — Coulée. — Les charges sont préparées tantôt au niveau du gueulard, tantôt au niveau du sol, et amenées à l'aide d'un monte-charge; on a préalablement procédé au dosage du minerai; on connaît sa richesse; on sait la consommation de coke qu'il faut pour produire une fonte donnée; on arrive par tâtonnements à déterminer la quantité de castine qu'il faut ajouter pour avoir un laitier fusible. Le chargement se fait soit à l'aide de wagonnets que l'on décharge à la file dans le gueulard, en réservant le fondant pour la fin, soit, quand le gueulard est fermé, à l'aide de wagons distributeurs où le mélange est tout fait.

Quand on est en allure constante, on prépare les lits pour un certain temps, douze heures, vingt-quatre heures. Les ouvriers assurent le chargement; ils jugent, à l'aide d'une sonde, s'il faut procéder à une nouvelle charge. Les couches chargées horizontalement au gueulard ne restent pas parallèles; le milieu tend à descendre un peu vite; le minerai plus lourd tend à rejeter le coke contre les parois; aussi charge-t-on plus de minerai sur les bords qu'au centre de la cuve, les gros morceaux au milieu, les petits contre les parois; un gueulard trop grand rend le chargement difficile et même impossible à bien répartir; une cuve cylindrique laisserait descendre les couches sans les déranger; les gaz rencontreraient les minerais sur les mêmes faces; il faut que les gaz au gueulard aient une certaine pression, au moins 6 à 10 centimètres d'eau, une dépression amenant fatalement la production d'un courant gazeux central.

Au bas du fourneau, il faut surveiller la régularité du soufflage, empêcher l'obstruction des tuyères. Les laitiers, soit qu'on les laisse couler continuellement, ou périodiquement, sont traînés à l'aide de ringards, ou moulés en pains dans des wagonnets.

Aujourd'hui, on procède aussi au décrassage à l'aide de l'eau. Le laitier barbotte dans l'eau contenue dans un tuyau de fonte; à la sortie, il est transformé en sable de laitier.

Les coulées ont lieu deux, trois, ou quatre fois en vingt-quatre heures. On coule jusqu'à 25 tonnes de fonte. Les laitiers qui coulent après la fonte sont détournés dans une rigole branchée sur celle de la fonte. Les rigoles conduisent

Digitized by Google

la fonte au chantier de coulée; le sol, légèrement incliné, est composé de sable et de fraisil. Quand on a peu de fonte à couler, on emploie un moule allongé : c'est une *gueuse* ou un *saumon* (2.000 à 2.500 kilogrammes); on moule quelquefois en plaques de $0^m,60$ à 1 mètre de largeur et de $0^m,06$ d'épaisseur; on remplit d'abord les moules les plus éloignés, et à l'aide de vannes on arrête à volonté la coulée du métal. Dans d'autres cas, on coule la fonte dans des lingotières; on a ainsi l'avantage de n'avoir pas de sable à la surface de la fonte.

79. Allures du haut-fourneau. — On peut faire varier l'allure du haut-fourneau avec la charge du minerai, le dosage du lit de fusion, la quantité de vent et la pression. L'*allure* est *normale*, quand le minerai est complètement réduit; les laitiers sont fluides, uniformes; les tuyères sont libres, la descente des charges se fait régulièrement; les gaz au gueulard sont à température normale; la flamme paraît sur toute la surface. On produit, en allure normale, diverses espèces de fontes: la fonte grise; la fonte blanche, rayonnée et fibreuse; les fontes blanches lamellaires, et les fontes blanches manganésées.

L'*allure* est *crue*, quand une partie du minerai n'est pas réduite et passe dans le laitier. Elle se reconnaît à l'aspect des laitiers, qui sont moins fluides et refroidissent vite; ils contiennent toujours de l'oxyde de fer. Les tuyères sont moins claires. L'allure crue se produit par suite de la trop grande vitesse, ou par l'excès du minerai; cette allure est dangereuse; le fourneau peut s'engorger; si le vent ne peut plus passer, il faut démolir le creuset. On obtient toujours des fontes blanches froides se refroidissant vite et présentant une surface concave. L'allure crue peut être accidentelle, et causée par une tuyère fonctionnant imparfaitement.

L'*allure intermédiaire* donne des fontes rubannées, des fontes truitées.

Mise hors feu. — La dégradation de la cuve, l'élargissement de l'ouvrage obligent souvent à la *mise hors feu*. On nettoie alors le creuset; on enlève les pièces métalliques au

Digitized by Google

gueulard et on refond des blocs de fonte. Ou bien, on remplace le minerai par du laitier concassé; on charge du laitier, du coke, de la castine; on souffle encore légèrement, jusqu'à ce qu'on soit obligé de s'arrêter. Le fourneau est rempli de castine.

La durée d'un haut-fourneau est variable : le haut-fourneau au charbon de bois dure de deux à trois ans; au coke, de trois à quinze ans.

80. Théorie. — Le traitement des minerais au haut-fourneau a pour but de réduire les minerais de fer, de carburer ce fer réduit, et de séparer ce fer ainsi carburé de la gangue; toutes ces opérations se font avec l'aide du carbone dont l'excès s'échappe finalement au gueulard à l'état d'oxyde de carbone ou d'acide carbonique, et de *fondants*, qui forment avec la gangue des laitiers fusibles éliminés à la partie inférieure du fourneau.

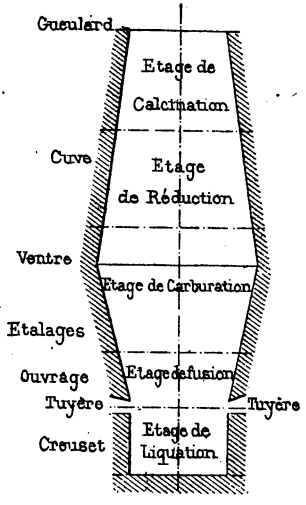


Fig. 102

Toutes ces phases du travail s'opèrent régulièrement dans le haut-fourneau en allure normale. Aussi, si l'on considère ce qui se passe dans la cuve, peut-on diviser l'opération en cinq périodes distinctes qui s'effectuent dans le haut-fourneau à des étages différents (*fig.* 102).

1° *Étage de calcination du minerai.* — Pour assurer l'égale répartition des charges dans la descente, on est conduit à faire des charges horizontales par lits; on charge alternativement un lit de minerai et un lit de combustible et de fondants. Si on prend le haut-fourneau en pleine marche, à mesure que le minerai se consomme, les charges descendent, l'humidité s'en va d'abord; puis, l'eau d'hydratation,

Digitized by Google

qui se dissocie vers 300°; les minerais prennent de la porosité; un peu de soufre, contenu dans le minerai, tend à se vaporiser. Les gaz sortent du gueulard entre 200 et 400°, selon la hauteur et la vitesse du fourneau, la température du vent injecté. La composition de ces gaz est variable; en moyenne on a : oxyde de carbone, 24 0/0; acide carbonique, 12 0/0; hydrogène et bicarbure d'hydrogène, 4 0/0; azote, 60 0/0.

2° *Étage de réduction.* — La réduction commence lorsque l'oxyde de carbone est en quantité suffisante et à assez haute température; l'oxyde de carbone commence à agir sur le peroxyde de fer vers 450°; le temps de la réduction varie avec la régularité de la descente; il y a avantage à ce qu'elle soit effectuée complètement avant que l'acide carbonique formé se tranforme en oxyde de carbone sous l'action du combustible, ce qui a lieu entre 800 et 900°; au bas de l'étage de réduction on n'a que l'azote et l'oxyde de carbone en présence.

3° *Étage de surchauffage et de carburation.* — Au bas de l'étage précédent, le fer réduit se trouve disséminé dans la gangue; le carbone agit facilement sur lui et le carbure, en le réchauffant de plus en plus; les silicates formés se réduisent au contact du carbone; l'oxyde de fer reste toujours associé à la silice.

4° *Étage de fusion.* — Le point où commence la fusion dépend de la fusibilité des matières et de la température des régions inférieures, qui dépend elle-même de la quantité de combustible et de la température du vent injecté. A la hauteur de l'ouvrage, le fer fond, le laitier se forme, la carbonisation du métal augmente, le silicium est réduit et passe dans la fonte; sa présence a pour effet de séparer le carbone à l'état de graphite. Les phosphates se réduisent; le calcaire en retient un peu; tout le reste passe dans la fonte; le soufre passe dans le laitier; le soufre combiné reste dans la fonte. Le protoxyde de manganèse est réduit également; si le laitier est basique, le manganèse passe dans la fonte, sinon il reste dans le laitier, qu'il rend plus fluide. La combustion se fait un peu au-dessus du niveau des tuyères. La pression du vent doit être telle qu'elle produise la combustion sur toute la section de l'ouvrage; aussi est-on obligé de mettre

Digitized by Google

un certain nombre de tuyères qui ont chacune leur *champ de combustion;* la température atteint 2.700°; tout l'oxygène est transformé en acide carbonique en excès et en oxyde de carbone; à cette température, les gaz se dissocient; en présence du carbone en excès, l'acide carbonique se transforme en oxyde de carbone; on tombe brusquement à une température de 1.700°; puis, le courant ascendant, rencontrant du combustible et du minerai, carbure le fer, produit la fusion des matières qui entraînent avec elles une grande quantité de chaleur; la température diminue de proche en proche.

5° *Étage de liquation.* — La fonte et le laitier forment un bain dont le laitier occupe la partie supérieure; il peut se produire des actions chimiques; si le laitier est siliceux, la fonte peut absorber une certaine quantité de silicium.

81. Produits obtenus. — Suivant l'allure du haut-fourneau on obtient des fontes différentes; on les classe en fontes *de moulage* et fontes d'*affinage.* Il sera indiqué au § 3 quelles sont les qualités que doit présenter une bonne fonte de moulage; quant aux fontes d'affinage on en distingue plusieurs catégories : les fontes destinées au *puddlage* contiennent 2,5 à 3,5 0/0 de carbone; 1/2 0/0 de silicium; 1/2 à 2,50 0/0 de manganèse et très peu de soufre et de phosphore; les fontes Bessemer sont des fontes grises siliceuses; et les fontes Thomas, des fontes blanches très riches en phosphore (2 0/0).

Spiegel. — On appelle spiegel une fonte blanche lamellaire à grains brillants, obtenue quand on marche au haut-fourneau en allure chaude, avec un mélange de fer et de manganèse et un laitier calcaire; cette fonte peut contenir jusqu'à 2 0/0 de manganèse.

Ferro-manganèse. — On appelle ainsi des spiegels contenant plus de 2 0/0 de manganèse; on est parvenu à obtenir, au haut-fourneau, de salliages contenant 80 0/0 de ce métal; à partir de 25 0/0, ils ne sont plus attirables à l'aimant. Les ferro-manganèses sont employés dans la période de sursoufflage au convertisseur Bessemer pour recarburer le métal (100).

Ferro-silicium. — C'est un alliage de fer et de silicium, obtenu au haut-fourneau en allure chaude; on emploie 2 ou

Digitized by Google

3 tonnes de coke pour 1 de minerai; pour obtenir le ferro-silicium, l'emploi de minerais alumineux est tout indiqué, car il se forme un aluminate de chaux, et la silice libre est réduite. Le manganèse en petite proportion dans l'alliage ne nuit pas; il facilite, au contraire, l'élimination du soufre. Le ferro-silicium contient de 10 à 20 0/0 de silicium; on l'emploie dans les fonderies pour adoucir les fontes blanches.

Silico-spiegel. — C'est un ferro-silicium contenant aussi du manganèse en quantités presque égales au silicium. On l'emploie pour la fabrication des aciers moulés, pour éviter la formation des soufflures. Il s'obtient également au haut-fourneau en allure chaude, avec un mélange de fer oxydé, de bioxyde de manganèse et de silice libre.

Ferro-chrome. — Alliage contenant de 40 à 65 0/0 de chrome, et servant également d'intermédiaire pour la fabrication des aciers.

82. Laitiers. — Leur utilisation. — Les laitiers sont des silicates multiples, des mélanges en proportions mal définies de silicates de chaux, de magnésie, d'alumine; ils contiennent toujours un peu d'oxyde de fer et de manganèse. Les laitiers riches en silice et en alumine ont l'aspect vitreux; ceux où la chaux et la magnésie dominent sont opaques, pierreux.

Quels qu'ils soient, les laitiers, très encombrants, sont débités, soit en pavés, soit en petits fragments obtenus au concasseur, et servent pour l'empierrement des routes. En 1882, M. Raty a commencé à fabriquer des ciments de laitier qui donnent de bons résultats dans les constructions; on les obtient par un mélange intime de laitier granulé et de chaux éteinte. Ces ciments font complètement prise au bout de dix heures environ. Mélangés avec du sable, ces ciments donnent un bon mortier.

§ 3. — Différentes espèces de fontes. — Fontes grise, blanche. — Fonte de moulage. — Fusion

83. On classe les fontes en deux groupes: la fonte grise, et la fonte blanche.

Digitized by Google

La **fonte grise** est ainsi nommée à cause de son aspect gris, à grain fin. Sa couleur varie du gris noir au gris clair; ce n'est pas un produit homogène ; tout le carbone contenu n'est pas combiné au fer, une certaine proportion est disséminée dans la masse sous forme de paillettes graphiteuses. On peut la travailler au tour et à la lime. Elle devient très fluide et est très propre au moulage. Sa densité varie de 6,8 à 7. Elle contient jusqu'à 5 0/0 de carbone, le silicium combiné peut atteindre 2 à 3 0/0.

La **fonte blanche** présente une couleur argentine et une cassure brillante; sa texture varie avec la teneur en carbone et en manganèse; quand elle contient beaucoup de carbone, la texture en est fibreuse et rayonnée; les fontes blanches manganésées sont lamellaires et à facettes miroitantes.

La fonte blanche est dure et cassante; elle raye le verre. Le silicium diminue sa dureté; le manganèse et le soufre l'augmentent. Dans la fonte blanche, le carbone est intimement combiné au fer, de manière à former un alliage homogène. Comme elle a plus de retrait que la fonte grise, qu'elle se brise par le choc et ne se laisse pas entamer par la lime, on ne s'en sert guère que pour le moulage des objets devant présenter une surface très dure. Sa densité varie de 7,4 à 7,8.

De l'allure du haut-fourneau et de la nature du minerai dépendent la production de telle ou telle fonte : une allure chaude ainsi que la présence du silicium favorisent la production de la fonte grise. Les minerais manganésés sont propres à la fabrication de la fonte blanche. Si la fonte liquide est très chaude, elle absorbe beaucoup de carbone et peu de silicium ; si on la refroidit brusquement on obtient une fonte blanche; refroidie lentement elle donne une fonte grise. Si la fonte contient du manganèse, elle pourra rester blanche ; si le silicium est en excès, il élimine le carbone à l'état de graphite ; si on refroidit lentement, on obtient une fonte grise lamellaire. 1 0/0 de phosphore rend la fonte fusible, mais cassante ; plus la fonte est produite à haute température, plus elle est phosphoreuse; tout le phosphore du minerai et du combustible se concentre dans la fonte. Les effets de l'arsenic sont analogues à ceux du phosphore. Une fonte très siliciée ne trempe pas. Le

Digitized by Google

manganèse amène l'augmentation du carbone dissous ; le soufre joue le même rôle ; les fontes sulfurées trempent facilement.

En résumé, la fonte blanche peut se transformer en fonte grise par un *refroidissement lent*, et la fonte grise peut se transformer en fonte blanche par un *refroidissement brusque*.

Fontes truitées. — Ce sont des fontes intermédiaires entre les fontes grises et blanches ; elles ont une cassure grenue et massive, et présentent des taches grises et blanches ; on les utilise pour le moulage.

84. Fontes de moulage. — La fonte de fer a une dureté considérable, l'avantage de devenir plus fluide que les autres métaux, et d'augmenter de volume au moment de la solidification, ce qui permet d'obtenir des empreintes très nettes ; son retrait est moindre que celui des autres métaux ; c'est le plus économique des métaux que l'on peut employer au moulage.

Les fontes de moulage doivent être très fluides et se figer le moins vite possible, ne pas expulser beaucoup de graphite, ne pas présenter de soufflures, piqûres, etc., ne pas avoir un trop grand retrait, être homogènes et pouvoir se travailler assez facilement. Les fontes grises remplissent ces conditions.

La *fonte de première fusion* est peu employée pour le moulage des pièces métalliques ; on ne peut pas opérer sur une grande quantité de matière, à cause de son défaut d'homogénéité ; de plus, le dégagement des gaz qu'elle contient donne lieu à la production de soufflures ; aussi se sert-on de la *fonte de deuxième fusion*, qui permet d'obtenir en grande quantité telle qualité de fonte désirée et ne renfermant presque pas de gaz.

85. *La fusion s'opère :* 1° **Au creuset.** — Les *creusets* sont des vases d'argile construits avec soins, exempts de matières étrangères et placés dans des fours à vent. La fonte change peu de nature pendant la fusion, mais ce procédé est coûteux à cause des déchets qu'il occasionne (15 0/0 de fonds de creuset) ; on l'emploie pour la fabrication des pièces délicates ; il faut de 80 à 200 kilogrammes de coke pour fondre 100 kilogrammes de fonte.

Digitized by Google

2° **Au cubilot.** — Les *cubilots* sont des fours à cuves doublés extérieurement en pisé et en briques réfractaires. L'enveloppe (*fig.* 103) est en tôle ou en fonte. La forme des cubilots est cylindrique ou tronconique, la grande base étant tournée vers le bas ; la sole est légèrement inclinée vers le trou de coulée ; ces fours sont servis par des ventilateurs ; des tuyères, placées à différentes hauteurs, distribuent le vent ; le chauffage préalable du vent est nuisible ; il favorise la production de l'oxyde de carbone, ce qui constitue une perte.

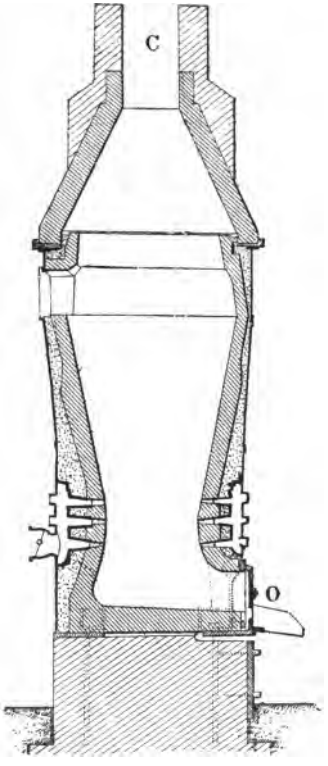


Fig. 103

L'opération de la fusion se fait ainsi :

On commence par allumer le feu sur la sole ; on met du coke jusqu'au tiers ou à la moitié du cubilot ; l'air arrive par le trou de coulée ; on charge les gueusets de fonte par le gueulard ; quand le feu est arrivé au niveau des tuyères, on souffle avec un vent faible ; puis, on charge alternativement du coke et des gueusets ; on compte 80 à 100 kilogrammes de coke par mètre carré de section ; les charges de fonte sont de dix à vingt fois plus fortes que les charges de coke. Quand la fusion commence, on bouche le trou de coulée ; la fonte s'accumule dans le creuset.

L'atmosphère est oxydante au niveau des tuyères ; la fonte, qui s'est échauffée en descendant peu à peu, subit un léger

Digitized by Google

changement; il se forme un peu d'oxyde de fer qui s'unit à la silice; il se produit une scorie qui surnage sur le bain de fonte. Le courant ascendant de gaz contient de l'oxyde de carbone; c'est ce qui explique pourquoi, au lieu de dépenser 3 kilogrammes de coke pour fondre 100 kilogrammes de fonte, comme la théorie l'indique, il en faut au moins 6 kilogrammes. La hauteur des cubilots au-dessus des tuyères jusqu'au gueulard est de $2^m,50$ à $3^m,50$, pour les cubilots chauffés au coke, et de $4^m,50$ à 6 mètres, quand on emploie le charbon de bois.

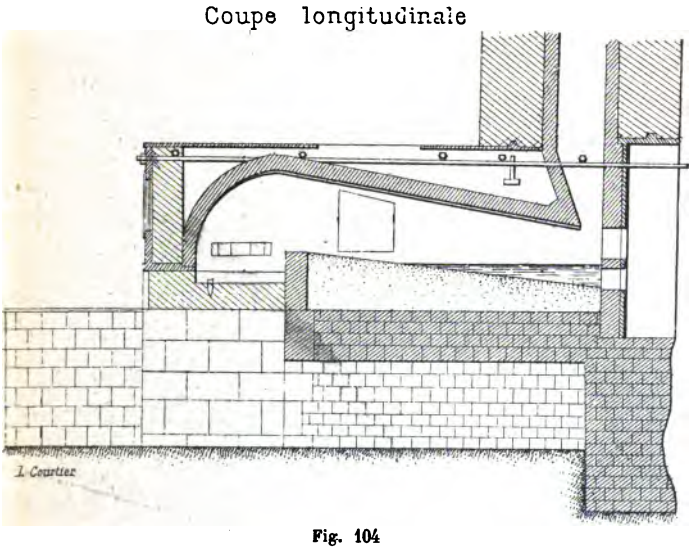


Fig. 104

Le diamètre du cubilot ne doit jamais être inférieur à $0^m,50$, en raison de la facilité des réparations. La profondeur au-dessous des tuyères ne dépasse jamais $0^m,80$. Le vent introduit en quantité suffisante, permet d'économiser le combustible, car plus la fusion est rapide, moindre est l'oxydation. Pour fondre 1.000 kilogrammes de fonte, on compte 70 à 100 kilogrammes de coke et 10 à 13 mètres cubes d'air par minute.

On emploie, depuis quelques années, des cubilots mar-

Digitized by Google

chant par aspiration : un jet de vapeur débouchant à la partie supérieure du cubilot produit le tirage ; l'air arrive par la partie inférieure du four entre le creuset et la cuve qui sont indépendants.

Procédé Rollet. — Les déchets obtenus par fusion au cubilot varient de 3 à 7 0/0; les fontes provenant de minerais sulfureux contiennent toujours des proportions notables de soufre. On connaît cependant le moyen de scorifier le soufre au haut-fourneau: mais il est peu économique. En opérant une fusion de la fonte sulfureuse dans un cubilot à garniture *basique*, et en présence d'un laitier (*basique*), M. Rollet est parvenu à la désulfurer, et même à la déphosphorer. Le soufflage permet d'obtenir une atmosphère réductrice. On désulfure la fonte sans brûler le carbone qu'elle contient. Ce procédé doit être employé toutes les fois qu'on veut obtenir des fers et des aciers de qualité supérieure.

86. On emploie également le **four à réverbère** pour la fusion de la fonte, celle-ci est exposée à une atmosphère oxydante; la main-d'œuvre est plus considérable qu'au cubilot. On ne l'emploie que pour refondre des fontes pauvres en graphite, pour les gros moulages : canons, cylindres de laminoirs (*fig.* 104). Le combustible employé est le coke, la houille ou l'anthracite. La durée de l'opération varie de quatre à sept heures ; la consommation de coke atteint jusqu'à 90 kilogrammes par 100 kilogrammes de fonte ; les déchets varient avec la rapidité de l'opération ; 5 0/0 est un minimum.

Les fours les plus employés sont à sole plate ; le métal fondu s'écoule par le trou de coulée placé un peu en contrebas de la sole.

§ 4. — Moulage de la fonte

87. Le § 3 donne l'énumération des conditions nécessaires pour obtenir une bonne fonte de moulage ; l'étude des matières qui servent à la confection des moules fera l'objet de ce paragraphe.

Les matières constituant les moules se divisent en cinq classes :

Digitized by Google

1° Le *moulage en sable vert ou maigre* est employé pour la confection des pièces de machines. Les moules ne sont pas étuvés. Le sable vert doit être doux, poreux ; mouillé, il doit faire pelote. Le sable de carrière convient assez, mais il est rare ; on lui substitue un mélange d'argile et de sable quartzeux ; on utilise peu les sables neufs seuls ; on les mélange avec des sables ayant déjà servi et du poussier de houille. Avant de couler la fonte, on saupoudre le moule avec de la poussière de charbon de bois tamisé, ou avec de la fécule, pour éviter la trempe qui se produirait au contact du sable trop humide.

2° Le *moulage en sable vert séché* sert au moulage des pièces de grandes dimensions : bâtis, balanciers, etc. Le sable est de même nature que le précédent, mais plus serré. Avant la coulée, on sèche le moule soit sur place, soit à l'étuve. Ici on ne peut plus mettre de charbon de bois à la surface, mais on emploie un badigeon composé d'eau, d'argile fine et de poussier de charbon de bois.

3° *Moulage en sable gras ou d'étuve.* — Ce moulage est employé pour les pièces compliquées, et dans lesquelles la solidité du moule est indispensable. C'est un sable argileux, liant, mélangé de sable de briques réfractaires ; il doit contenir assez d'éléments maigres pour éviter le retrait. Pour augmenter la porosité, on incorpore à la masse de la bouse de vache hachée, du crottin de cheval. On garnit les parois du moule avec un badigeon composé d'eau, d'argile et de coke. On porte ensuite le moule à l'étuve où on le laisse douze heures environ.

4° Le *moulage en terre* est employé pour les pièces circulaires obtenues en moulant au trousseau. Cette terre doit être liante et siliceuse ; on emploie pour sa confection un argile sableux qu'on amaigrit avec du sable brûlé ; on ajoute du crottin pour favoriser la sortie du gaz. Le mélange s'obtient avec des malaxeurs spéciaux qui donnent des produits uniformes.

5° *Moulages en coquilles.* — Les moules employés sont en métal. On utilise ce procédé pour obtenir des surfaces très dures : cylindre de laminoirs, etc.

Digitized by Google

88. Procédés de moulage. — Les moules se font avec des modèles, avec des noyaux, ou par façonnage total à la main.

Les *modèles* se font généralement en bois : peuplier, sapin, tilleul, noyer. Pour les grands modèles on emploie le cuivre, la fonte, le plâtre. Les modèles doivent pouvoir se démouler; pour cela, ils sont en plusieurs parties et présentent de la dépouille ; ils doivent être très soigneusement façonnés, et être légèrement plus grands que les pièces à obtenir, pour tenir compte du retrait de la fonte.

Les *noyaux* sont des modèles en creux. Quand une pièce doit présenter des parties creuses, le noyau en sable prend la place du métal. Ils sont confectionnés à l'aide d'une boîte à noyaux en deux pièces. On serre dans cette boîte (*fig.* 105) du sable à noyaux ; on le maintient dans le moule à l'aide de parties saillantes appelées *portées* du noyau. Les noyaux sont étuvés.

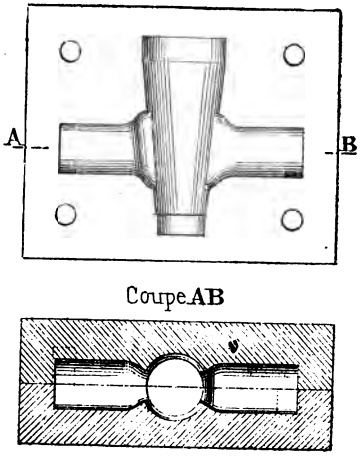


Fig. 105

Les moules sont préparés dans des châssis en bois ou en fonte ; chaque fonderie en possède une série complète ; les mouleurs se servent de *battes* et de *maillets* pour serrer le sable ; les *spatules* et les *lissoirs* sont les outils employés pour le finissage des moules. Les *aiguilles* sont destinées à pratiquer les évents qui servent au passage des gaz pendant la coulée.

89. Généralités. — Lorsqu'on procède au moulage de la fonte avec un modèle, il faut d'abord pouvoir *démouler* la pièce : le modèle doit présenter une certaine conicité dans tous les sens (avoir de la *dépouille*) ; il ne doit pas présenter de variations trop grandes dans les épaisseurs, car il se produirait un retrait brusque lors de la solidification. Le retrait

Digitized by Google

est d'autant plus considérable que le refroidissement est plus rapide ; il est naturellement plus grand dans les parties minces. Les modèles doivent présenter un chanfrein sur les angles, afin d'éviter les gerces; dans les angles rentrants on doit avoir un congé d'au moins 5 millimètres de rayon. Les conduits par lesquels le métal pénètre dans le moule (jets de coulée) doivent être disposés de façon à permettre l'accès facile du métal dans toutes les parties du moule ; ces jets débouchent ordinairement à la partie basse du moule.

La sortie de l'air se fait dans des évents convenablement répartis pour le refroidissement égal du métal. Une précaution consiste à piquer le sable avec de longues aiguilles dans tous les angles, ou les saillies, où l'air pourrait être emprisonné. Avant la coulée, on recouvre toutes les parois du moule et du noyau de poussière de charbon ou d'un badigeon indiqué plus haut. Au moment de la coulée, il se dégage de l'oxyde de carbone, produisant avec l'oxygène en excès un mélange détonant; on évite les explosions en allumant autour du moule des feux de copeaux. On doit donner au modèle des dimensions supérieures à la pièce à obtenir de 1/100 au moins, pour tenir compte du retrait.

90. Défauts des fontes. — Les différents défauts qui peuvent se produire pendant la coulée sont les suivants :

Soufflures. — Les soufflures sont produites par des bulles d'air ou de gaz qui n'ont pas trouvé d'accès par les évents ; elles existent surtout à la partie supérieure des pièces et sont presque toujours recouvertes d'une couche de métal très mince, d'un éclat plus brillant que le reste de la pièce. Lorsque la soufflure présente une surface arrachée, raboteuse, on l'appelle *retirure.*

Les *piqûres* sont de petites soufflures.

Les *dartres* se produisent quand une partie de sable est détachée du moule; elles se présentent sous forme de crevasses ; elles sont rares dans les pièces coulées en sable d'étuve, et assez fréquentes dans les pièces coulées en sable vert.

Les *bosses* sont des saillies à la surface de la pièce ; elles proviennent du manque d'adhérence du sable qui n'a pas été suffisamment serré.

Digitized by Google

Les *gouttes froides* sont des gouttelettes de fonte qui se refroidissent au moment de la coulée ; elles entraînent généralement des défauts de soudure et des soufflures.

Criques. — Les criques sont des fentes produites par le retrait.

Reprises. — Les reprises sont des défauts de soudures provoqués par un arrêt subit dans la coulée ; elles sont toujours visibles à la surface des pièces.

Les *crasses* se produisent à la partie supérieure des pièces ; elles résultent des impuretés de la fonte.

La gravité de ces défauts est variable avec la destination des pièces. Les soufflures, piqûres, dartres, peuvent être aisément réparées, au moyen de soudures ou de pièces de fer rapportées, introduites de force au marteau. Les soudures se font avec du zinc, ou des alliages fusibles à très basse température ; ces métaux ne conviennent qu'à de petites soufflures, car la soudure avec la fonte se fait mal. Les gouttes froides se dissimulent à l'aide du mastic de vitrier.

Pour verser la fonte dans les moules, on se sert de poches à bras pour les petites pièces et de poches suspendues à des grues pour les grandes. Pour éviter le refroidissement, on jette du fraisil à la surface ; mais il forme alors une couche assez difficile à enlever. Aussi actuellement emploie-t-on des poches qui se vident par le fond.

Quand les pièces sortent du moule, il faut faire tomber le sable, retirer les noyaux, enlever les ébarbures. On coupe les jets et les évents à l'aide de burins et de bédanes, on polit à la meule ; on recuit et on recouvre d'un enduit, s'il y a lieu.

Pour préserver les pièces de la rouille, on les recouvre d'une couche chaude d'huile de lin mêlée de noir de fumée, ou de goudron chaud pour les grosses pièces.

Fonte malléable. — Pour confectionner des objets moulés en fonte malléable, on prend de la fonte blanche aussi pure que possible, et on procède au moulage des objets à fabriquer. On démoule ensuite rapidement, à cause du grand retrait qui se produit ; on ébarbe ; puis, on porte les objets dans un four à flamme oxydante, en les plaçant dans des pots entourés d'hématite rouge. On chauffe au rouge sombre pendant quatre ou cinq jours.

Digitized by Google

La décarburation de la fonte ne se produit qu'à la surface, sur une épaisseur de 4 ou 5 millimètres environ.

C'est ainsi qu'on fabrique les clefs, les pièces de machines à coudre, de revolvers, canons, etc. La fonte malléable n'est pas soudable ; elle se polit aussi bien que l'acier, se lime et se burine facilement.

91. Exemples du moulage. — Lorsque le moule est enfermé dans une boîte en fonte ou en bois le procédé em-

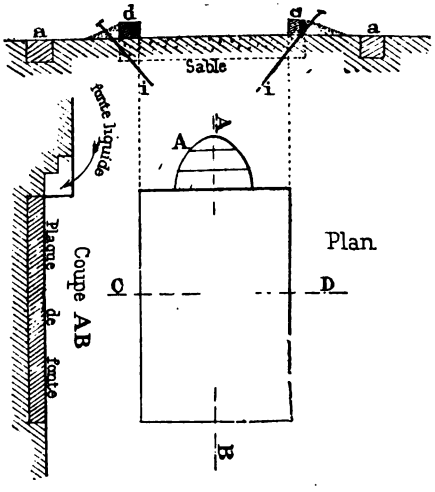


Fig. 106

ployé se nomme *moulage en châssis*. Quand il s'établit dans le sol de la fonderie, c'est le *moulage sur chantier*, *à découvert*, lorsque la partie supérieure est libre, et *à couvert*, si l'on couvre le moule.

Le *moulage sur chantier* se fait pour des pièces simples : plaques, etc. On prépare dans le sol de la fonderie une aire plane qu'on garnit de sable vert frais. On dresse ensuite le chantier avec des règles, de façon à obtenir une surface bien horizontale (*fig.* 106) ; puis, pour constituer le moule de la

Digitized by Google

plaque, on établit des règles carrées en bois ou en fer, ayant exactement l'épaisseur de la plaque à obtenir ; on bat le

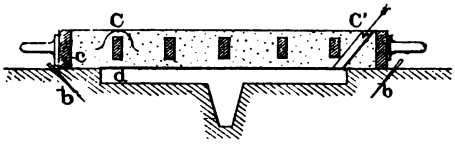


Fig. 107

sable derrière, pour maintenir le cadre ainsi formé ; puis, on saupoudre de houille en poussière : la coulée est constituée par deux marches, sur lesquelles on verse la fonte. Les trous sont obtenus au moyen de noyaux. Pour donner de l'air, on enfonce dans le sable de longues aiguilles. La surface de la plaque ainsi obtenue est toujours rugueuse ; pour obtenir une surface plus nette, on couvre le moule avec un *châssis fausse-pièce* consistant en un grand cadre en fonte portant des poignées et des traverses. On pose ce châssis sur le modèle (*fig.* 107), et on le remplit de sable frais sur une certaine épaisseur ; on achève le remplissage avec du vieux sable, en ménageant toutefois des trous pour la coulée et l'évent. On retire le mo-

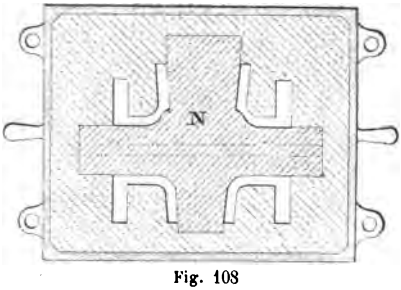


Fig. 108

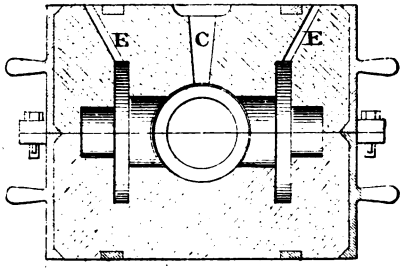


Fig. 109

Digitized by Google

dèle, on saupoudre le sable et on fixe le châssis; il ne reste plus qu'à procéder à la coulée.

Moulage en châssis. — Ce moulage se fait, en général, en deux châssis. Le châssis inférieur, retourné et rempli de sable, reçoit la première moitié du modèle; puis, il est renversé sur la table du mouleur; on place la deuxième moitié du modèle; on verse de la cendrée, et on pose le deuxième châssis; on foule le sable, en réservant des trous d'évent et de coulée à l'aide de chevilles en bois. Pour démouler, on enlève le châssis supérieur bien verticalement; on retire les deux parties de modèle successivement, et on remet le châssis supérieur en place. Pour constituer des points de repère pour la remise en place, le châssis inférieur porte des oreilles dans lesquelles passent des goujons; ces goujons, après avoir traversé les oreilles correspondantes du châssis supérieur, sont fixés à l'aide de clavettes.

Les figures 108 et 109 représentent le moulage en deux châssis d'un robinet: le noyau N a été obtenu avec la boîte représentée sur la figure 105; le jet de coulée est en C, les évents en E (*fig.* 109).

On moule souvent en trois châssis.

92. *Moulage en coquille.* — Le moulage en coquille est employé pour avoir des surfaces très dures. Les cylindres de laminoirs se moulent, partie en sable, partie en coquille. Un tel cylindre se compose de trois parties: la *table*, les *tourillons* et les *trèfles*. La table est cylindrique et se raccorde avec les tourillons et les trèfles. On l'obtient à l'aide d'un moule métallique tourné à l'intérieur; en haut, on superpose un châssis dans lequel on a réservé un vide pour la *masselotte;* celle-ci est destinée à retarder le refroidissement, à tasser le métal et à recevoir les impuretés. Un châssis inférieur portant l'empreinte du trèfle et le trou de coulée complète l'installation (*fig.* 110). On coule la fonte en source; de temps en temps, un ouvrier passe une tige de fer de haut en bas, pour permettre le dégagement des gaz; c'est le pompage. La coquille doit avoir un poids plus grand que le cylindre à couler; elle pèse au moins trois fois plus.

Moulage au trousseau. — Le moulage au trousseau s'ap-

Digitized by Google

plique aux surfaces de révolution ; voici comment il s'opère : on prend un support sur lequel on place un arbre verticalement. Cet arbre fixe porte une planchette B, qui peut tour-

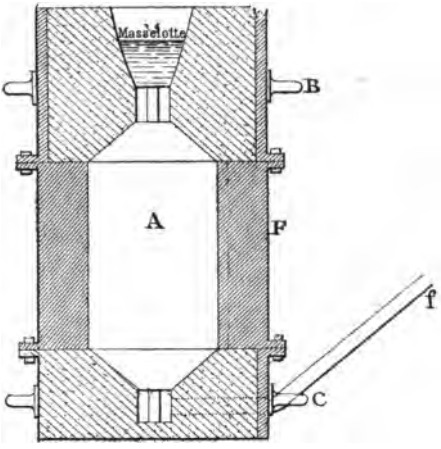


Fig. 110

ner autour de l'arbre (*fig.* 111). La planchette est découpée à sa partie inférieure selon le profil à obtenir ; elle se déplace dans un moule en terre. On donne plusieurs coups de trous-

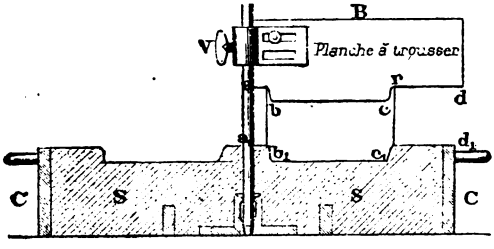


Fig. 111

seau, pour obtenir le profil définitif. On moule ainsi les roues d'engrenage.

Digitized by Google

§ 5. — Fabrication des fers et des aciers par affinage de la fonte

93. L'affinage a pour but de faire disparaître les matières étrangères au fer, soit à l'état de gaz, soit à l'état de scories. On soumet la fonte à l'action oxydante de l'air, ou de substances oxydantes. Le silicium s'oxyde le premier, le manganèse et le fer s'unissent à lui pour donner une scorie fusible; puis, le fer s'oxyde partiellement, donne le protoxyde de fer, puis l'oxyde magnétique de fer; la scorie devient pâteuse, basique. On élève la température, le métal perd son carbone; le phosphore s'oxyde en partie et passe à l'état d'acide phosphorique, mais n'est éliminé que par une scorie basique; sinon, il reste dans le métal.

Lorsqu'on opère à une température plus basse que la fusion du fer et de l'acier, on obtient un produit qui contient dans ses pores des scories; il faut alors procéder à un *cinglage* pour les expulser, puis à un *étirage*. Quand on opère à une température plus haute que la fusion du fer et de l'acier, la scorie surnage le bain, le lingot est pur, mais contient des bulles et des soufflures; on est obligé de le *serrer*.

On distingue quatre méthodes d'affinage :

1° L'affinage au bas foyer : procédés comtois, anglais, etc.;
2° L'affinage au four à réverbère, ou puddlage;
3° L'affinage pneumatique au convertisseur;
4° L'affinage par réactions.

94. I. **Affinage au bas foyer : procédé comtois.** — Une forge complète comprend des bas foyers, une soufflerie et des marteaux.

Les foyers sont adossés à des murs en maçonnerie et se composent de quatre parois latérales et d'une sole (*fig.* 112). Ces parois, ou *taques*, sont formées par des plaques de fonte. La sole est mobile et peut s'incliner suivant le travail; on la change tous les huit jours; le *contrevent* est opposé à la tuyère la plaque de *warm* se trouve du côté du mur; la *haire*, ou *rustine*, constitue la taque du fond, et le *chio* forme la face du travail.

Digitized by Google

La *profondeur* du foyer est la distance du fond au plan inférieur des tuyères ; elle varie de $0^m,16$ à $0^m,28$, selon la nature des fontes et la qualité des fers à obtenir ; quand on veut aller vite, on diminue la profondeur et on incline un peu la tuyère.

L'affinage comprend quatre périodes : la *fusion*, le *soulèvement*, le *travail* et l'*avalage*.

Au début de l'opération, on jette dans le foyer le charbon incandescent des opérations précédentes ; on met du fraisil et du charbon frais jusqu'à $0^m,10$ ou $0^m,15$ au-dessus de la tuyère ; on donne le vent ; on fait avancer la gueuse de fonte au-dessus de la nappe de vent ; on la place le plus près pos-

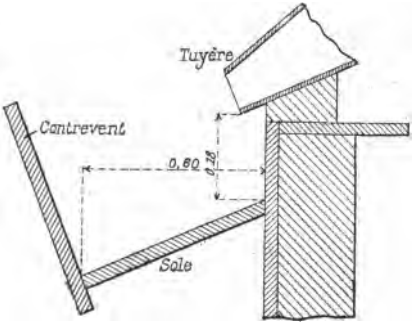


Fig. 112

sible de la zone où l'acide carbonique se produit; la fonte tombe goutte à goutte; la fusion dure de une heure à une heure et demie; pendant ce temps, l'ouvrier réchauffe les *lopins* de l'opération précédente et les étire.

Au début de l'opération, le carbone et le silicium s'oxydent partiellement ; un peu de fer est réduit; on charge alors des scories riches en oxyde de fer des opérations précédentes, c'est-à-dire celles qui se sont produites à la fin du travail ; ces scories s'appauvrissent en fer et se chargent en silice; elles tombent au fond du foyer; le forgeron s'en débarrasse et arrête le vent ; puis, il soulève la masse et forme la *boule;* il met du charbon dessous pour la maintenir au niveau des

Digitized by Google

tuyères; il redonne le vent et tourne les parties les moins décarburées vers la tuyère; la boule refond; on ajoute alors des ferrailles de même nature qui s'incorporent à la masse; le vent, agissant de concert avec les scories oxydantes formées, favorise l'élimination du carbone restant; le forgeron découpe au ringard la boule et la soulève partiellement pour que la décarburation se fasse en tous les points. Quand il n'y a plus de charbon on augmente le vent, les scories deviennent liquides et débarrassent le fer; le forgeron réunit les grumeaux épars et soulève la boule sur la plaque du chio; c'est l'*avalage*. On jette ensuite sur la boule des battitures, et on la frappe.

La durée de l'opération varie de deux heures à deux heures et demie; on fond 100 kilogrammes de fonte; on ajoute 20 kilogrammes de ferraille; on obtient finalement 110 kilogrammes de fer. La consommation de charbon varie de 100 à 120 kilogrammes. Les chaleurs perdues sont utilisées pour le chauffage des chaudières à vapeur ou le réchauffage de pièces diverses.

Les marteaux employés pour le cinglage et l'étirage des boules sont les marteaux à soulèvement, et des marteaux de côté; on utilise plutôt aujourd'hui le *marteau-pilon*. La loupe, cinglée au marteau, est coupée en deux *massiaux*, qu'on étire isolément en *maquettes* (section carrée), ou en *largets* (sections rectangulaires).

En Angleterre, on emploie des bas-foyers à coke; on a trois appareils : un pour la fusion, un pour le travail, un pour l'étirage. Ces procédés tendent à disparaître.

95. II. Affinage au four à réverbère. — Puddlage. — Les fours à puddler sont des fours à réverbère chauffés à la houille. Ils se composent généralement (*fig.* 113) d'une grille à barreaux mobiles, qui se charge par une ouverture latérale nommée *toquerie;* d'une sole, dont le fond est en fonte et les parois doublées en matériaux réfractaires. La sole est séparée de la grille par le *grand autel* ou *pont de chauffe*, qui dirige la flamme au-dessus de la sole; cet autel est creux et permet d'obtenir une circulation d'eau pendant la durée du travail; les parois de la sole sont à circulation d'air. La sole est pentagonale; une porte de travail y donne accès et per-

Digitized by Google

met à l'ouvrier de passer son ringard dans tous les sens.

La première sole est séparée par le *petit autel* d'une

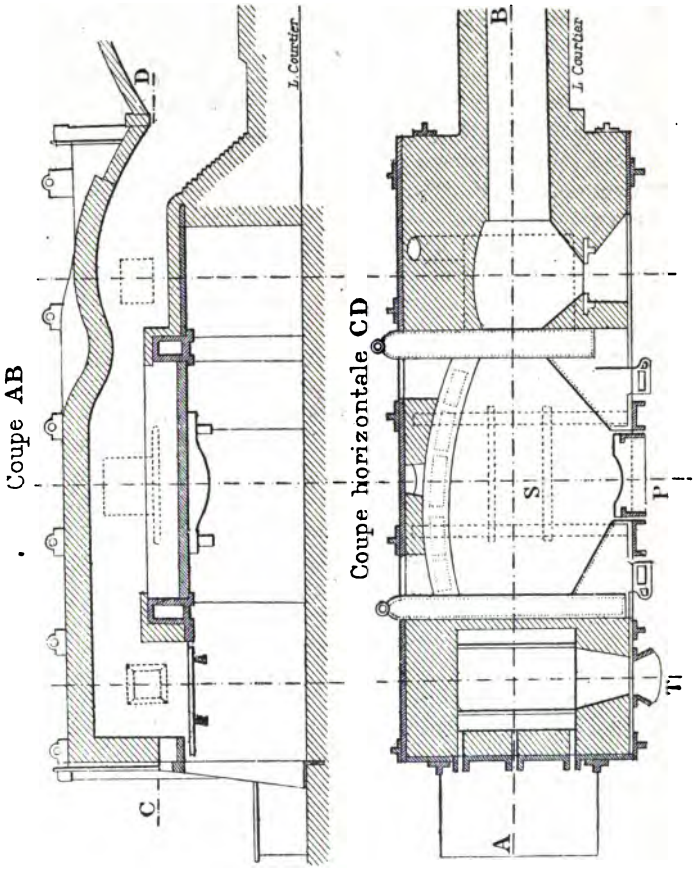


Fig. 113

deuxième servant au réchauffage. La voûte est en matériaux réfractaires ; elle est peu épaisse, car elle se détériore vite ; elle est élargie au-dessus de la sole.

Digitized by Google

Le four est enveloppé d'armatures qui s'opposent aux effets de la dilatation; il se termine par une cheminée munie d'un registre pour le règlement du tirage.

Pour le travail, on barbouille la sole et les cordons d'argile, on y jette des scories riches concassées (bulldogs); on dame; on donne un coup de feu; on lisse ensuite. Une sole peut durer deux semaines; les cordons s'usent plus vite, mais se réparent facilement.

Les *bulldogs* employés à la confection de la sole sont des laitiers de puddlages grillés. Au sortir des fours, ils sont coulés dans des poches en fonte de 50 kilogrammes, puis cassés en morceaux de 1 à 5 kilogrammes. On grille ces morceaux dans un four, comme pour le plâtre; on cuit huit à dix jours et on procède à un choix des morceaux. Pendant le grillage, une partie de l'oxyde de fer des silicates est oxydée; les silicates restants deviennent acides; ils fondent facilement et s'écoulent en entraînant de l'acide phosphorique. Le laitier restant est poreux et moins fusible; c'est le *bulldog*.

L'opération du puddlage consiste à chauffer la fonte jusqu'à fusion plus ou moins pâteuse; sous l'action de l'atmosphère oxydante du four et de l'oxygène des oxydes de fer, qui forment les cordons de la sole, le fer s'oxyde et cède ensuite son carbone qui passe à l'état d'oxyde de carbone ou d'acide carbonique; le silicium est transformé en silice; le phosphore, en acide phosphorique; le soufre, en acide sulfureux; le manganèse, en protoxyde de manganèse.

Le puddlage comporte deux méthodes de travail: le puddlage gras, et le puddlage sec.

96. Théorie du puddlage. — Le *puddlage gras, chaud* ou *bouillant*, se divise en quatre périodes: 1° la fusion; 2° l'épuration; 3° la décarburation; 4° la confection des boules.

L'ouvrier passe une nappe d'eau sur la sole, puis un ringard, pour établir sa consistance; il charge des scories riches, puis des gueusets de fonte qu'il dresse sur les cordons de la sole. Toutes les portes sont fermées; le cendrier et le registre sont ouverts; il se produit un coup de feu; les scories fondent, la fonte également; l'ouvrier retourne les morceaux avec le ringard pour faciliter la fusion. Le car-

Digitized by Google

bone et le silicium sont en partie oxydés; la scorie s'appauvrit en oxyde de fer, et devient moins basique. L'ouvrier remue le bain avec un crochet; il brasse la fonte dans toutes les parties de la sole, en faisant une série de zigzags en éventail. Au bout d'un certain temps, on voit apparaître l'oxyde de carbone; on continue à brasser; le silicium et le manganèse passent complètement dans la scorie qui absorbe l'oxygène, et redevient décarburante. La scorie devient visqueuse; le bain monte, le fer est alors à l'état de grains brillants; ces grains se soudent; le brassage devient pénible; la température baisse, le bouillonnement qui s'était produit diminue; l'atmosphère est neutre. Le fer est pénétré de scories; l'ouvrier soulève et retourne toute la masse; le fer se décarbure encore; pour que la décarburation soit complète, l'ouvrier divise la masse en quatre ou cinq parties, en évitant d'enfermer les scories dans les *boules*, ou *balles*, qu'on porte ensuite au cinglage.

Pendant l'opération, le phosphore s'oxyde parallèlement au carbone, mais n'est pas éliminé complètement; le soufre se conduit de la même façon, mais il en reste encore environ la moitié de la quantité primitive à la fin du travail.

Le *puddlage sec* est peu employé ; il diffère du précédent en ce qu'il se fait sans addition de scories, et à température plus basse; la fonte est simplement réduite en *sable*, et ne subit pas la fusion complète. Il sert à l'affinage des fontes blanches ordinaires ; il produit du fer de médiocre qualité, car la scorie reste intercalée dans la masse ; de plus, le travail est incertain.

On a essayé de fabriquer de l'*acier puddlé*, mais l'opération demande beaucoup de soins ; les produits obtenus dépendent trop du travail de l'ouvrier.

Il faut, par four, deux puddleurs et deux aides travaillant huit heures. La durée totale du travail est d'une heure et demie ; on fait de dix à dix-huit charges en vingt-quatre heures, selon la nature de la fonte. Les déchets varient, en raison de la pureté de la fonte employée et de l'habileté de l'ouvrier ; ils peuvent atteindre de 5 à 20 0/0 pour la fonte grise.

Digitized by Google

97. Puddlage mécanique. — Le brassage mécanique a été employé dans plusieurs usines métallurgiques pour supprimer le puddlage à bras, qui est extrêmement pénible ; mais les résultats obtenus ont été médiocres, et les appareils ne se sont pas répandus. Le puddlage mécanique se fait dans des fours rotatifs, ou oscillants, ou dans des fours à sole tournante. La figure 114 représente un four du système Danks ; la sole circulaire B tourne seule par l'intermédiaire du pignon F et de la roue dentée E.

98. Cinglage et étirage des boules. — Laminoirs. — Fers obtenus. — Les balles sortant du four sont composées de fer en grains imbibé de scories ; on les comprime fortement à

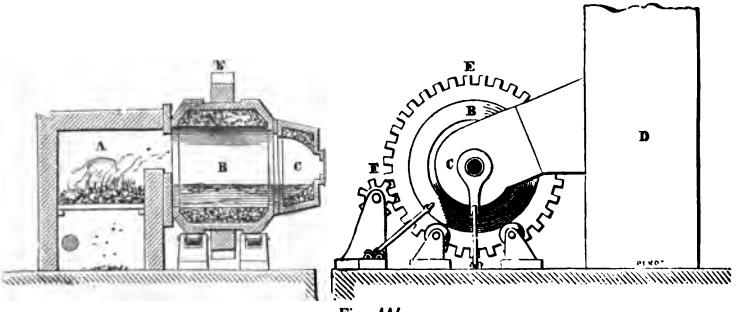


Fig. 114

la température du blanc soudant. Autrefois, pour les mauvais fers, on cinglait les boules dans des *squeezers* rotatifs, sortes de presses opérant par pression plus ou moins lente. Aujourd'hui on opère au marteau-pilon de *cinglage* pesant de 1.500 à 2.500 kilogrammes. On transforme la boule en un *bloom*, prisme carré de $0^m,14$ de côté.

L'*étirage* se fait au rouge cerise, après réchauffage des blooms ; cet étirage augmente la densité du métal, et améliore le soudage. On étire rarement au marteau-pilon ; ce sont les laminoirs qui sont très généralement employés.

Les *laminoirs* sont formés de *cages* montées sur des plaques à ergots, reposant sur des fondations solides en maçonnerie. Entre la plaque et la pierre de taille, on inter-

Digitized by Google

pose une feuille de plomb. Les laminoirs se composent de trois parties (91) : la table, les tourillons et les trèfles ; ils sont à jeu duo et trio, c'est-à-dire à deux ou à trois tables superposées (*fig.* 115 et 116), portés par des colonnes C. La colonne se compose d'un cadre en fonte reposant sur une plaque à ergots rendue solidaire de la colonne par l'interposition de

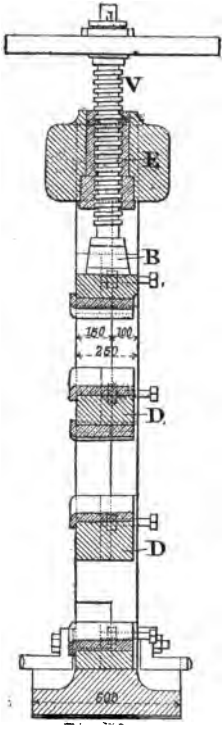


Fig. 115

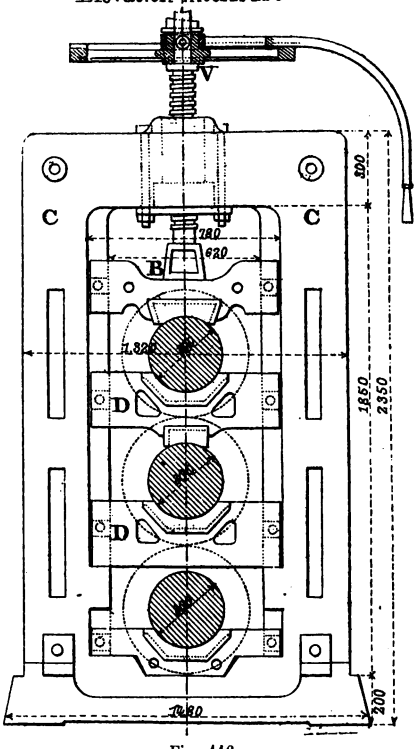


Fig. 116

coins. La colonne est renflée à sa partie supérieure, pour laisser passer une vis V à filet carré qui tourne dans un écrou en bronze E. Cette vis s'appuie sur le coussinet du cylindre supérieur par l'intermédiaire d'une boîte de sûreté B en

Digitized by Google

fonte, qui se brise lorsque les efforts exercés sur le cylindre deviennent trop considérables. Les tourillons reposent sur des coussinets en bronze, maintenus eux-mêmes dans des pièces en fonte D nommées empoises ; en général, l'empoise inférieure du trio est fixée au bâti ; les deux autres sont maintenues par des cales.

On règle le jeu entre les cylindres ; à l'aide de coins qu'on interpose entre l'empoise et le coussinet supérieur. On peut, également, régler latéralement pour amener les cylindres dans un même plan vertical et pour que les cannelures soient bien en face l'une de l'autre. On place du côté de l'entrée du cylindre un tablier en tôle, et à la sortie une

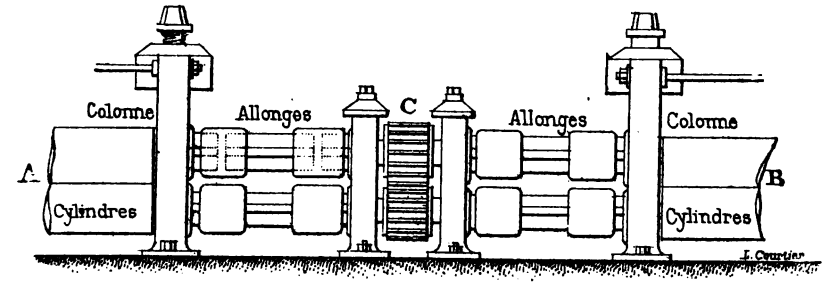


Fig. 117

plaque de garde qui reçoit la barre sortant de la cannelure, et l'empêche de s'enrouler sur le cylindre inférieur.

Quand on emploie deux cylindres, on donne le mouvement au cylindre inférieur ; quand on se sert d'un jeu trio, c'est le cylindre du milieu qui reçoit directement le mouvement de la machine. Les trains de laminoirs se composent ordinairement de deux équipages (*fig.* 117) ; chaque équipage communique avec l'autre à l'aide d'allonges de fonte en forme de trèfles, et dont la section est réglée de telle sorte qu'elles cassent avant toute autre pièce de la machine, si un effort trop grand vient à se produire. Des manchons mobiles permettent l'embrayage et le débrayage. On commande chaque train par une machine spéciale.

Digitized by Google

Pour l'étirage des fers puddlés on emploie des équipages à deux ou trois cylindres, à *cannelures*. Ces cannelures sont de deux espèces, cannelures ouvertes ou fermées; elles ne doivent jamais diminuer le fer de largeur; elles forgent le métal dans le sens perpendiculaire à leur axe.

Le *tirage* d'une cannelure est le rapport entre la section de la cannelure précédente et celle que l'on considère; il augmente avec la bonne qualité du fer.

La *pression* est la diminution de l'ordonnée.

L'étirage se fait en deux phases: le *dégrossissage* et le *finissage;* les cannelures dégrossisseuses sont ogivales; les finisseuses sont plates (cannelures *plateuses*); elles sont emboîtées dans le cylindre supérieur.

L'ouvrier traîne le prisme aux cylindres à l'aide de tenailles; il l'engage dans la première cannelure. A l'arrière du train, l'aide le soulève sur le cylindre supérieur; il est ressaisi dans la deuxième cannelure, et ainsi de suite.

L'étirage se fait rapidement; il dure deux minutes; quand le fer ne passe pas par les cannelures plateuses, les barres carrées obtenues se nomment: *rayotins*, *billettes*.

Les fers puddlés diffèrent selon la nature de la fonte employée et la conduite du puddlage. Le classement se fait suivant l'aspect de la cassure: fer à grain, fer à nerf. Commercialement on en distingue sept qualités.

Le fer n°	1,	ou fer	commun	Fer à rails.
—	2	—	ordinaire.....	Métis.
—	3	—	demi-fort	Amélioré.
—	4	—	fort.....	Fort.
—	5	—	extra-fort	—
—	6	—	supérieur	Fin.
—	7	—	extra-supérieur.....	—

99. III. Affinage pneumatique au convertisseur. — Les convertisseurs employés aujourd'hui sont mobiles. Ce sont des cubilots formés d'une enveloppe extérieure en tôle, garnie intérieurement d'une chemise réfractaire de $0^m,25$ à $0^m,30$ d'épaisseur (*fig.* 118). Vers le centre de gravité se trouve la *ceinture* C en acier portant deux tourillons, qui reposent eux-mêmes sur des paliers. On peut mettre l'appareil en

Digitized by Google

mouvement à l'aide d'une roue d'engrenage calée sur l'un des tourillons et commandant une crémaillère, montée sur la tige d'un piston de cylindre hydraulique.

Le fond de la cornue est démontable; il est constitué par une plaque de fonte F où débouchent les tuyères. Les tuyères

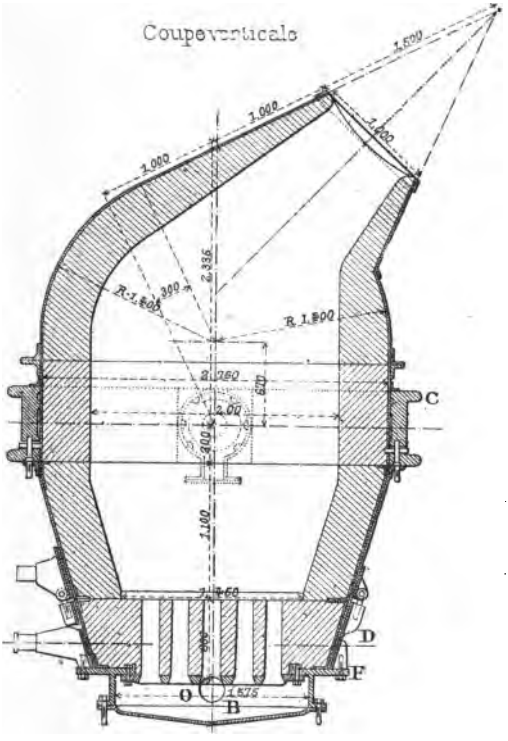


Fig. 118

sont formées par des manchons en terre réfractaire, percés de trous; elles sont noyées dans la sole et débouchent de l'autre côté dans la *boîte à vent* B, formée par une boîte en fonte qui reçoit le vent par une ouverture latérale O, communiquant avec un des tourillons qui est lui-même creux.

Digitized by Google

La capacité des convertisseurs varie entre dix et douze fois le volume de la fonte employée ; la hauteur est de cinq à six fois celle du bain. L'appareil représenté sur la figure 118 est un convertisseur de 10 tonnes de l'aciérie de Denain.

Le travail du convertisseur présente deux variantes : 1° le travail acide ; 2° le travail basique.

100. 1° Travail acide. — L'appareil étant couché, on introduit la fonte à l'aide de poches de coulée ; elle forme un bain de $0^m,60$ d'épaisseur, quand la cornue est remise en place. On donne le vent ; les jets traversant la fonte, le silicium et le carbone s'oxydent rapidement. La combustion s'opère partout à la fois sous l'influence de la haute température et du brassage continu opéré par le vent. Les produits de la combustion restent dans le bain, et font élever la pression dans l'appareil; il se dégage au bec de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique ; la scorie commence à se former ; la flamme au bec est courte, pleine d'étincelles; elle s'allonge bientôt; on voit apparaître au spectroscope les différentes raies vertes dues à la présence du manganèse. La décarburation commence ; on ajoute des riblons pour profiter de la haute température du bain ; au bout de quelques minutes, il se produit un bouillonnement dans l'appareil, la flamme s'allonge encore au bec, et la scorie est projetée. Le carbone, le silicium et le manganèse diminuent rapidement; le passage du vent dans la masse devient plus facile. Vers la fin de la décarburation, la flamme devient plus blanche, puis se raccourcit brusquement; le bouillonnement cesse, on interrompt le soufflage ; on incline l'appareil pour ajouter un corps riche en carbone et en manganèse ; c'est le *spiegeleisen*, ou simplement *spiegel*.

Le carbone du spiegel recarbure le métal fondu, le manganèse réduit l'oxyde de fer formé et passe dans la scorie qu'il rend plus fluide. On incline enfin l'appareil pour procéder à la coulée.

Si l'on veut un métal carburé, on ajoute le spiegel fondu ; sinon, c'est un ferro-manganèse à l'état solide qui constitue l'addition finale.

La fin de l'opération se reconnaît à l'aspect de la flamme dont on suit la réverbération sur un mur blanc. Vers la fin

Digitized by Google

du travail elle est d'un rouge particulier. On retire les scories de l'appareil à l'aide d'une longue tige : quand elles sont noires, c'est que le métal est complètement décarburé.

En étudiant la flamme au spectroscope, on suit les raies produites par le manganèse ; elles forment quatre groupes et apparaissent dans l'ordre suivant : 2, 3, 4, 1 ; elles disparaissent suivant l'ordre 4, 3, 2, 1. Quand on veut décarburer complètement le métal, on attend jusqu'à la disparition de 1.

101. 2° Travail basique. — Traitement des fontes phosphoreuses. — Dans le procédé Bessemer que nous venons d'indiquer, le phosphore n'est pas éliminé ; pour qu'il reste dans la scorie, il faut une base énergique qui ne soit pas déplacée par la silice. Dans le procédé Thomas et Gilchrist, le convertisseur a une garniture basique : dolomie, chaux ou magnésie, ou, le plus souvent, un pisé de dolomie et de goudron.

L'opération se fait de la manière suivante : on charge, dans le convertisseur, de la chaux vive sortant du four de calcination (environ le cinquième de la charge de fonte). On ajoute du coke et on donne le vent ; puis on charge la fonte chaude ; la période d'oxydation est à peine sensible ; dès le début, le carbone diminue, ainsi que le silicium et le manganèse ; la silice produite donne une scorie basique ; le phosphore s'oxyde et donne de l'acide phosphorique ; il ne s'élimine pas encore, car la scorie n'est pas encore formée ; au bec, la flamme est rouge et blanche, pleine d'étincelles. Au bout d'un quart d'heure, il ne reste plus de carbone ; on continue le soufflage, et, pour ne pas élever la température, on ajoute des riblons. On continue pendant deux minutes le sursoufflage qui produit la *déphosphoration*. On fait l'addition finale du spiegel ; le phosphore remonte un peu, parce que le carbone du spiegel traversant les scories fait revenir un peu de phosphore. Il reste, à la fin de l'opération, les deux tiers du soufre primitif. Le phosphore et le manganèse s'éliminent dans la scorie à l'état de phosphate de chaux et de protoxyde de manganèse.

Le garnissage latéral dure de cent cinquante à cent soixante opérations ; il a $0^m,60$ d'épaisseur environ. Le fond doit être remplacé après quinze opérations, ce qui est relativement

Digitized by Google

facile. On dépense 50 kilogrammes de dolomie et 5 kilogrammes de goudron par tonne de fonte produite.

Les aciers obtenus par ce procédé sont homogènes, soudables, et se travaillent aussi bien que les fers fins; ils coûtent meilleur marché. Ils contiennent moins de phosphore que les fers ordinaires. Ils se forgent et se laminent parfaitement. Ils prennent du nerf et du corps sous l'action de la trempe. En traitant au convertisseur Thomas des fontes exemptes de silicium, riches en phosphore et en manganèse, on obtient encore des produits plus purs donnant un métal très soudable.

102. Affinage en petit. — L'installation complète d'une

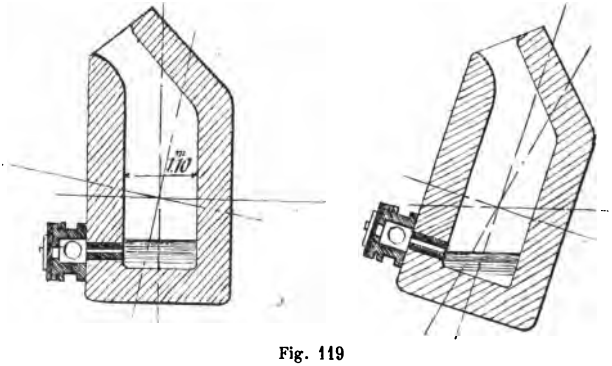


Fig. 119

usine pour production du fer Bessemer ou Thomas exige un matériel coûteux et une installation considérable. Pour parer aux frais de premier établissement et d'entretien, il faut produire beaucoup. Aussi les petites usines qui n'ont à traiter que de très faibles quantités de fonte se servent-elles d'appareils plus petits. Le convertisseur Robert (*fig.* 119) est actuellement adopté dans beaucoup d'établissements.

C'est un convertisseur oscillant, dans lequel le vent est introduit latéralement d'un seul côté, par une série de tuyères placées presque au niveau du bain. La pression du vent est de 25 à 35 centimètres de mercure.

Digitized by Google

L'opération s'exécute en faisant varier l'inclinaison de la cornue dans le sens vertical, pour conserver la même charge de métal au-dessus de chaque tuyère. Le courant d'air suffit pour opérer le brassage de la masse. Le métal n'est pas mélangé de scories lors de la coulée. Lorsqu'on renverse l'appareil, l'arrêt du vent est instantané. On traite ainsi 1.000 kilogrammes de fonte en vingt minutes ; le garnissage intérieur est variable, selon la qualité des aciers à obtenir. L'opération réussit parfaitement avec des fontes pures déphosphorées au procédé Rollet.

Les déchets du métal au convertisseur sont considérables et atteignent souvent 20 0/0, ils proviennent de causes multiples : de la fusion au cubilot, des pertes par les scories et des reprises.

La tonne de lingot coûte de 30 à 40 francs en plus que la tonne de fonte employée (Jordan).

103. IV. Affinage par réactions.— 1° *Au creuset.*— La fabrication des aciers fondus au creuset s'est rapidement développée dans ces dernières années ; son emploi simple et sûr permet d'obtenir de l'acier fin de telle qualité que l'on désire ; l'absence de tout contact avec l'extérieur donne toute sûreté dans la composition des produits obtenus, les parois seules du creuset pouvant agir sur la qualité du métal. On peut charger dans les creusets à peu près toutes les substances : fontes, wolfram, bioxyde de manganèse, riblons, etc. On obtient ainsi les produits suivants :

Aciers au manganèse. — Ces aciers se préparent en fondant au creuset un mélange en proportion convenable de fer doux et de ferro-manganèse. On a fabriqué, depuis 1878, des aciers au manganèse contenant moins de 2 0/0 de ce métal et dont la résistance était remarquable. Au-delà de 2 0/0 jusqu'à 7 0/0, les produits deviennent très fragiles sous l'action de la trempe. On a obtenu toutefois des aciers contenant plus de 7 0/0 de manganèse dont les propriétés sont remarquables. Ils sont très fluides, donnent des moulages sans soufflures, mais leur résistance est seulement la moitié de celle des aciers moulés proprement dits. Forgé avec la plus grande facilité, cet acier donne un métal dont voici les principales caractéristiques :

Digitized by Google

	Charge de rupture en kgr. par m/m2	Allongements 0/0
Eprouvette forgée	57 kgr.	1.6
Eprouvette réchauffée au jaune et refroidie à l'air.....	75 —	14.1
Eprouvette réchauffée au jaune et trempée à l'huile.....	86 —	24.6
Eprouvette réchauffée au jaune et trempée à l'eau.....	105 —	44.5

On voit que la trempe augmente à la fois la résistance et l'allongement. Elle donne aussi de la douceur au produit.

L'inconvénient de ce métal est qu'il ne se travaille à froid qu'à la meule ; les outils ordinaires ne l'entament pas. Cet acier n'est pas magnétique. Sa densité est 7,81. Sa résistance à la rupture par choc et à l'usure par frottement le rendent utile pour la fabrication des outils agricoles, des roues de wagons, etc.

Acier chromé. — L'addition de chrome dans les aciers produit un accroissement de ténacité et de résistance à la rupture. La teneur en chrome varie en général de 1 à 4 0/0.

L'acier chromé se forge et se travaille à froid comme l'acier ordinaire. Il se soude mal à lui-même. La trempe est plus vive que pour l'acier ordinaire, et les parties non trempées conservent leur ténacité. On emploie surtout l'acier chromé pour la fabrication des outils; on se sert de différents alliages plus ou moins résistants, selon le travail que l'outil doit produire.

Les projectiles de guerre se font en acier chromé ; les tôles pour plastrons de cuirasse, les abris de tourelle également.

On obtient l'acier chromé au creuset, en ajoutant dans le bain d'acier fondu de la fonte chromée. La résistance à la rupture atteint 110 kilogrammes par millimètre carré; l'allongement à la rupture varie de 6 à 22 0/0, selon que l'acier est trempé (6 0/0), ou forgé (22 0/0).

Acier au tungstène ou wolfram. — Ce produit s'obtient au creuset en ajoutant dans un bain d'acier doux une fonte riche en tungstène. On le produit également au convertisseur, en remplaçant le spiegel dans l'addition finale, par de la fonte tungstique. Cet acier est extrêmement dur. On l'emploie pour la fabrication des outils de tour et de rabotage,

Digitized by Google

sans être trempé. Sa résistance à la rupture est de 100 kilogrammes par millimètre carré. Il présente une cassure soyeuse caractéristique. Il a l'inconvénient de s'altérer en peu de temps à chaud et à froid.

On fabrique également des aciers au chrome et au tungstène, qui participent des propriétés des deux précédents.

Acier au nickel, au cuivre, au titane, à l'aluminium. — On produit également au creuset des aciers au nickel ; ces aciers, très durs, se corrodent à l'air facilement ; ils sont susceptibles de recevoir un beau poli ; ils se travaillent bien à froid lorsque la teneur en nickel ne dépasse pas 5 0/0 ; lorsqu'ils ne contiennent pas 1 0/0 de nickel, ils se soudent bien ; au-delà de cette proportion, ils ne sont pas soudables.

L'acier au cuivre est très résistant et très dur ; le cuivre augmente l'effet de la trempe.

L'aluminium a, comme le silicium, mais à un plus haut degré, la propriété de transformer le carbone combiné à l'état de carbone graphitique.

L'acier au silicium est employé à la fabrication des outils ; il se trempe bien, et n'exige qu'un faible recuit après la trempe.

2° *Au cubilot.* — L'affinage au cubilot est peu employé. On fait fondre dans le cubilot des riblons de fer associés à du spiegel ; on obtient des aciers de qualités variables.

104. 3° *Affinage au réverbère fixe (procédé Martin-Siemens) et au four tournant (four Pernot).* — Le four Martin se compose d'une sole spéciale, chauffée au gaz à droite et à gauche. Les chambres à briques sont sous la sole ; ces briques forment des conduits multiples et sinueux, où l'on fait passer alternativement, et en sens inverse, le courant gazeux produit par la combustion et le courant d'air destiné à alimenter le bain. C'est le principe de la récupération déjà indiqué précédemment.

M. Matho a disposé un four où les soles sont indépendantes du four et placées latéralement.

Les fours à sole mobile sont des fours Pernot (*fig.* 120). La cuvette est circulaire, portée par des chariots indépendants du four. La sole est mobile autour d'un axe incliné sur la

Digitized by Google

verticale et roule sur des galets G. Les chambres de récupération sont figurées en coupe en C. Les produits de la combustion s'échappent par des ouvertures M.

La cuvette de la sole se fait avec des matières diverses, suivant le travail.

Les soles acides sont en sable damé, pilonné par couches ; elles sont employées pour la fabrication des aciers à canon,

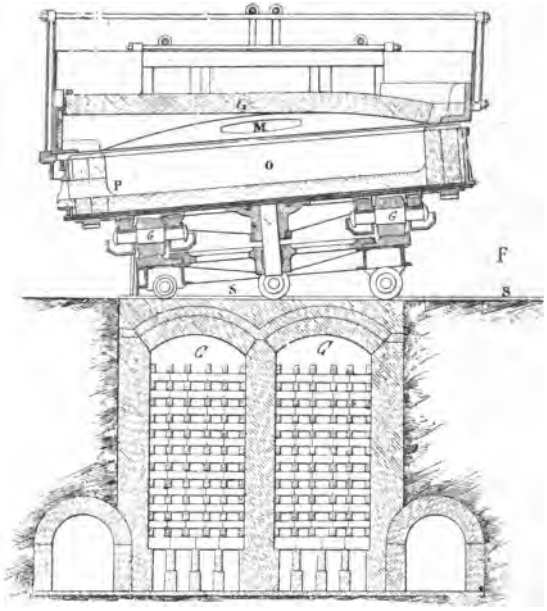


Fig. 120

les grosses tôles, les aciers soudants de qualité supérieure, comparables aux fers fabriqués au bois.

Les soles neutres sont utilisées quand on veut obtenir des aciers soudants de grande douceur ; le revêtement est en fer chromé qui résiste à la silice et à l'oxyde de fer. Le fer chromé employé est un minerai de chrome très réfractaire, aggloméré avec de la chaux qui sert de mortier. Avant chaque opé-

Digitized by Google

ration, on recouvre la sole d'une couche de chaux qui est presque totalement détruite à la fin du travail ; la sole proprement dite reste intacte.

Les garnitures basiques sont en dolomie grillée, chaux ou magnésie. Les voûtes sont toujours en briques siliceuses ; la capacité des fours varie de 3 à 15 tonnes.

Au four basique, on ne traite que de la fonte et des riblons, l'addition de minerai déterminant la destruction rapide du garnissage.

Les chambres de récupération sont de plus grandes dimensions qu'au four acide, pour obtenir une plus haute température; elles durent d'ailleurs moins longtemps.

Au four acide ou neutre, on distingue trois procédés : le premier consiste simplement à ajouter au bain de fonte des barres de fer; dans le deuxième, on remplace une partie du fer par un minerai riche. Le troisième consiste à remplacer le fer en barres, par des loupes de fer brut ou des éponges provenant de la réduction directe des minerais riches.

L'opération comprend : le *chargement*, la *fusion* et les *additions* successives. Le four, porté à la température du rouge blanc, reçoit des gueusets de fonte : le chargement dure deux heures. On ferme les portes; la fonte fond, formant un bain auquel on ajoute du fer ou de l'acier en morceaux préalablement réchauffés ; le carbone se répartit peu à peu dans toute la masse; le laitier formé réagit sur le métal qu'il épure en oxydant ses impuretés; on ajoute des matières épurantes et affinantes: riblons, chaux, fonte manganésée. De temps en temps, on prend des éprouvettes. Quand elles sont satisfaisantes, il n'y a plus de dégagement de gaz au four, le métal est purifié; on fait les additions finales pour réduire l'oxyde de fer formé : le spiegel, ou le ferro-manganèse ajouté, est chauffé au rouge. Il se produit un vif bouillonnement dans la masse ; on ringarde vigoureusement ; puis, quand le bain est calme, on procède à la coulée.

L'opération totale dure huit heures.

Sous l'influence de la haute température, toutes les matières étrangères s'oxydent, le silicium, le manganèse et le phosphore, celui-ci plus lentement que les premiers ; le soufre ne s'élimine jamais complètement; comme sa pré-

Digitized by Google

sence peut rendre l'acier inutilisable, il faut toujours traiter des fontes en contenant peu, de préférence les fontes désulfurées par le procédé Rollet.

Les laitiers provenant du travail basique contiennent de la chaux libre, de la magnésie et des phosphates assimilables. On les utilise avec succès en agriculture depuis plusieurs années ; les usines métallurgiques les livrent à très bon compte.

§ 6. — Fabrication de l'acier par carburation du fer

105. 1° Par cémentation. — Le cément employé est le charbon de bois dur, concassé. On met en vase clos à une température élevée du fer et du charbon en contact. On dispose dans des fours spéciaux des caisses remplies alternativement d'une couche de poussière de charbon renfermant des matières organiques azotées et d'une couche de barres de fer de petites dimensions (de 8 à 20 millimètres) d'épaisseur. On ferme la caisse avec un revêtement de boue argileuse et ferrugineuse.

On met en feu graduellement pendant trois à cinq jours, et on chauffe pendant douze à quinze jours au rouge vif. On laisse refroidir pendant une semaine. On obtient ainsi, au bout d'un mois environ, un acier appelé acier *poule*, à cause des nombreuses boursouflures qui tapissent la surface des barreaux. La structure de cet acier est lamelleuse.

Cet acier de cémentation n'est jamais homogène, aussi subit-il soit un corroyage, soit une fusion au creuset ; il est plus ou moins poreux ; au microscope, on voit des groupes de grains cristallisés, séparés les uns des autres par des espaces considérables.

Le corroyage s'effectue de la manière suivante : on casse les barres en fragments, en choisissant des échantillons de mêmes dimensions et de même carburation ; ces fragments sont réchauffés, étirés en barres plates (*languettes*) qu'on empile pour former une *trousse*. La *trousse* est ensuite chauffée au rouge blanc, soudée au marteau-pilon et étirée par moitié ; on réchauffe une deuxième fois, et on étire

Digitized by Google

l'autre moitié. On obtient ainsi l'acier corroyé au *simple marteau;* on peut corroyer deux ou plusieurs fois.

La *fusion* de l'acier *poule* se fait dans des creusets en graphite ou en terre réfractaire. Ces derniers sont les plus employés; on les laisse sécher trois mois au moins avant leur

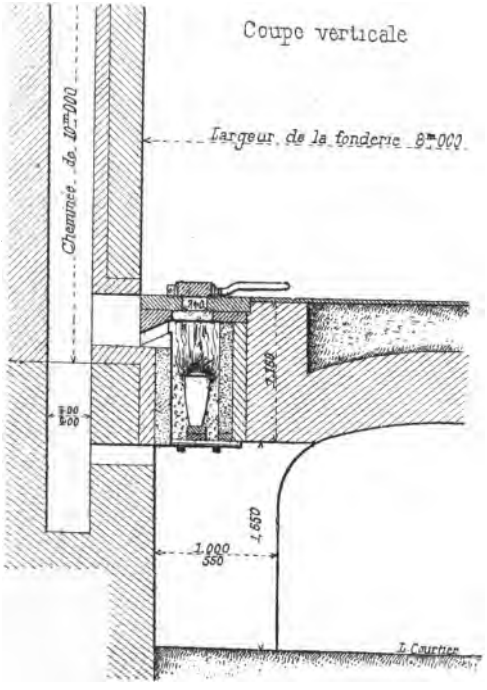


Fig. 121

emploi. Ces creusets sont placés dans des fours spéciaux et entourés de coke. Le chargement des creusets se fait à l'aide d'entonnoirs en tôle. La fusion dure de trois à cinq heures. On dépense de 200 à 300 kilogrammes de coke par 100 kilogrammes d'acier. On diminue cette consommation en instal-

Digitized by Google

lant plusieurs creusets dans un même four. Les creusets servent rarement plusieurs fois ; leur extraction est extrêmement pénible. La figure 121 représente un fourneau à vent, chauffé au coke ; il est à courant d'air naturel.

2° **Par fusion.** — En laissant dans les creusets le fer en contact avec du charbon, on obtient de l'acier fondu. On emploie pour cette fabrication différentes recettes qui sont tenues plus ou moins secrètes par leurs auteurs, et qui tendent à donner de la fluidité à l'acier, et à empêcher la production de soufflures.

Raffinage de l'acier brut. — Il se fait par corroyages ou par fusion. Les procédés sont toujours les mêmes ; la description en a été donnée au n° 104.

106. Trempe de l'acier. — Lorsqu'on refroidit brusquement en la trempant dans un liquide froid, une barre de fer rouge, le métal n'acquiert aucune qualité nouvelle ; au contraire, l'acier, dans ces conditions, devient dur et cassant : c'est de l'*acier trempé*. En réchauffant l'acier à une température un peu inférieure à celle de la trempe et en le laissant refroidir lentement, on diminue sa dureté et sa fragilité ; c'est le *recuit*, qui développe l'élasticité de l'acier et diminue l'aigreur. La *trempe* est une opération délicate ; elle exige des ouvriers habiles, sachant exactement saisir l'instant où la pièce est bonne à tremper, de manière qu'elle ne se voile ni ne se gerce.

Voici quelques règles à observer pour mener à bonne fin cette opération :

1° Avant le forgeage et la trempe de n'importe quel outil, on doit déterminer exactement la meilleure température de recuit de l'acier employé ;

2° La trempe doit avoir lieu dans l'obscurité ou, tout au moins, à l'ombre ;

3° Le bassin d'eau de trempe doit toujours être maintenu dans un très grand état de propreté ;

4° La chaleur restant après forgeage ne doit jamais être utilisée pour la trempe ; on doit toujours recourir à une nou-

Digitized by Google

velle chaude. Plus l'acier est dur, plus la couleur de chaude pour la trempe doit être sombre; pour l'acier très dur, la chaude de trempe se rapprochera du rouge sombre, pour l'acier dur elle variera entre le rouge sombre et le rouge cerise; pour l'acier moyen, du cerise clair au rouge; pour l'acier doux, entre le rouge ou le rouge clair et l'orange (Lévitzky).

Voici, d'après M. Osmond, les changements moléculaires qui se produisent par l'action de la trempe : dans le mélange de fer et de carbone, dont se composent les métaux soumis à la trempe, ces deux corps existent, à la température ordinaire, dans un état atomique différent. Quand on refroidit *lentement* ce mélange, il se produit, à certaine température, un dégagement brusque de chaleur correspondant à la formation d'une combinaison définie Fe^3C; le carbone ainsi mélangé prend le nom de carbone de *recuit*. Au rouge, le carbone se trouve dans un état particulier, appelé carbone de *trempe*. Le refroidissement *brusque* empêche la formation du composé Fe^3C. Le métal reste dans un état moléculaire instable; réchauffé, le carbone de trempe passe à l'état de FeC^3, et le métal revient à son état naturel, à un état moléculaire stable (*recuit*).

La transformation moléculaire produite par la trempe dépend de la composition des aciers; elle est différente dans les aciers, qui deviennent plus durs et plus fragiles (*trempe positive*), et dans les fers fondus qui deviennent plus doux et plus malléables (*trempe négative*).

La trempe à l'eau durcit la surface, rend l'acier plus élastique, mais plus fragile; la limite d'élasticité du métal s'élève, la résistance à la rupture diminue. On emploie souvent la trempe à l'huile, au suif, à la résine; l'huile durcit moins que l'eau la surface de l'acier; elle augmente l'élasticité et la résistance à la rupture.

La trempe au paquet est une cémentation obtenue à l'aide du prussiate de potasse. Le mercure trempe très fortement, mais aigrit l'acier ; les acides sont quelquefois employés pour la trempe des outils.

107. Préparation du fer par la méthode directe. — Utilisation des vieux fers. — Il est nécessaire de dire quelques

Digitized by Google

mots de la méthode *catalane*, qui a pour but l'obtention immédiate du fer par le traitement du minerai.

Le fourneau *catalan* est un creuset disposé dans un massif de maçonnerie ; on le remplit de charbon de bois bien allumé ; puis, on place dessus le minerai à traiter, et une quantité de charbon double de la précédente du côté de la tuyère ; on donne le vent progressivement ; il se produit d'abord de l'acide carbonique qui, en présence du carbone en excès, se transforme en oxyde de carbone qui agit à son tour sur le minerai, le réduit à l'état de fer, en repassant lui-même à l'état d'acide carbonique. Une certaine quantité de peroxyde de fer du minerai n'est pas complètement réduite, elle est transformée en protoxyde, qui s'unit à la gangue du minerai, pour donner un silicate double d'alumine et de fer très fusible, qui constitue le laitier.

L'opération est expéditive ; en six heures environ, on obtient au fond du creuset une masse de fer lenticulaire, qu'on soulève à bras et qu'on travaille au marteau, pour lui donner de la compacité et la débarrasser du laitier qu'elle contient.

On obtient, par ce procédé, du fer généralement doux ; quelques parties, plus dures, constituent ce qu'on appelle le fer *cédat*, et trempent à l'eau froide. On remarquera, cependant, que cette méthode ne permet pas d'obtenir tout le fer du minerai, puisqu'une partie notable passe dans le laitier ; elle n'est employée que pour les minerais très riches, dans les pays où les transports sont difficiles.

108. L'utilisation des fers de ferrailles, provenant de l'usure ou du remplacement des pièces en service dans la grande industrie fournit une part considérable à la production du fer en France. On traite dans les usines les fers de rebut de différentes manières :

1° On lamine le fer après réchauffage. Tel est le cas des vieux rails qu'on transforme par laminages successifs en fers plats, des essieux dont on fait des fers ronds, etc.

2° Lorsqu'on a à traiter des copeaux, limailles, feuillards, etc., on charge la masse dans un fourneau à réverbère, et l'on en fait une boule qu'on cingle très énergiquement au

Digitized by Google

marteau-pilon, pour souder le métal et chasser les scories interposées. On lamine ensuite le massiau obtenu. Ici, déjà, le combustible et la main-d'œuvre occasionnent une dépense appréciable.

3° Lorsqu'on a une quantité très importante de vieux fers de qualités et de dimensions différentes, il est indispensable de procéder à un triage soigné. Ce triage fait, on forme, avec des fers de même qualité et de mêmes dimensions, des paquets qu'on porte au four à réchauffer et qu'on lamine ensuite. On arrive, de cette façon, à produire des fers ayant les mêmes qualités que les fers marchands ordinaires.

§ 7. — Petits métaux

109. Cuivre. — Le cuivre est un métal rouge, d'odeur désagréable, très ductile, très malléable et susceptible d'un beau poli. Sa densité est 8,8 ; elle augmente par laminage.

Le cuivre est moins tenace que le fer ; sa résistance à la rupture varie selon le sens du laminage.

	Résistance à la rupture	Effort de sécurité pratique par mm²
	kg.	kg.
Cuivre rouge fondu dans le sens de la long.	13,40	2,33
— laminé	21	3,500
— battu	25	4,17
Cuivre rouge en fil non recuit : $d > 1$ mm.	50	8,33
— — $d < 1$ mm.	70	11,67

Le cuivre se travaille bien à froid et à chaud ; forgé, sa ténacité augmente. La résistance du cuivre diminue lorsque la température s'élève ; la résistance à 0° étant 100, elle est de 87 à 100° ; de 75,5, à 200° ; et de 66,6, à 365°.

Le phosphore et le silicium rendent le cuivre plus résistant ; on met à profit cette propriété pour fabriquer les fils de canalisations électriques aériennes. Le carbone empêche la soudabilité. Le soufre, le phosphore, le carbone, le zinc et le fer (en général, tout corps étranger) diminuent la conductibilité électrique du cuivre de façon très notable.

Digitized by Google

Le cuivre se lamine comme le fer; les lingots de cuivre sont chauffés au rouge sombre et passés dans des laminoirs analogues à ceux qui servent à la fabrication de la tôle de fer. Il faut les réchauffer plusieurs fois, car le métal s'aigrit au laminage. La feuille obtenue est trempée dans l'urine et exposée dans un four ; il se forme de l'ammoniaque qui détruit l'oxydation formée pendant le laminage. Les feuilles sont ensuite frottées, redressées et ébarbées.

Les feuilles de cuivre rouge du commerce ont $1^m,137$ sur $1^m,407$, le poids exprimé en livres donne le numéro des feuilles ; l'épaisseur varie de 1/4 de millimètre à 20 millimètres (Claudel).

Pour *étamer* le cuivre, on en décape la surface en la saupoudrant de sel ammoniac au moyen d'une étoupe ; il se forme un chlorure soluble qu'on peut détacher facilement ; puis, on étale l'étain sur la pièce à l'aide d'étoupes.

Autrefois on a fait usage du cuivre pour la couverture de certains édifices; on l'utilise peu à cet usage aujourd'hui; on l'emploie à l'état de tôle, de tuyaux, de tiges pour boulons, rivets, entretoises, à l'état de fil pour conduites électriques.

Digitized by Google

110. TABLEAU INDIQUANT LES POIDS PAR MÈTRE COURANT DES TUYAUX BRASÉS EN CUIVRE ROUGE EN LONGUEUR DE $3^{m},30$ OU 4 MÈTRES

DIAMÈTRE INTÉRIEUR en millimètres	ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES								
	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/2	3	4	5
10	0k 304	0k 393	0k 483	0k 572	0k 663	0k 870	1k 078	1k 548	2k 073
15	0 442	0 566	0 691	0 815	0 939	1 216	1 492	2 101	2 764
20	0 580	0 739	0 898	1 057	1 216	1 562	1 907	2 654	3 455
25	0 719	0 912	1 105	1 299	1 492	1 908	2 322	3 207	4 146
30	0 857	1 085	1 313	1 541	1 769	2 254	2 737	3 760	4 837
35	0 995	1 258	1 520	1 783	2 045	2 599	3 150	4 313	5 521
40	1 134	1 431	1 728	2 025	2 322	2 944	3 566	4 866	6 219
45	1 272	1 604	1 935	2 267	2 598	3 289	3 981	5 419	6 910
50	1 410	1 776	2 143	2 509	2 875	3 634	4 396	5 972	7 601
55	1 560	1 949	2 350	2 751	3 151	3 979	4 810	6 525	8 292
60	1 714	2 122	2 557	2 993	3 428	4 324	5 225	7 078	8 993
65	1 895	2 295	2 765	3 235	3 704	4 669	5 640	7 631	9 674
70	2 050	2 468	2 972	3 477	3 981	5 015	6 055	8 184	10 365
75	2 228	2 641	3 180	3 719	4 257	5 361	6 469	8 732	11 058
80	2 407	2 814	3 387	3 961	4 534	5 707	6 884	9 289	11 749
85	2 592	2 987	3 595	4 203	4 810	6 063	7 299	9 842	12 440
90	2 777	3 160	3 802	4 445	5 087	6 399	7 714	10 385	13 130
95	2 962	3 333	4 010	4 707	5 363	6 745	8 128	10 948	13 822
100	3 148	3 551	4 217	4 483	5 640	7 091	8 543	11 501	14 513
105	3 471	3 770	4 424	5 029	5 916	7 437	8 958	12 054	15 204
110	3 794	4 166	4 895	5 620	6 193	7 783	9 373	12 607	15 896
115	4 115	4 562	5 360	5 970	6 469	8 129	9 787	13 160	16 587
120	4 442	4 957	5 832	6 340	6 746	8 479	10 201	13 713	17 278

Digitized by Google

111. TABLEAU INDIQUANT LES POIDS DU MÈTRE COURANT DES TUBES SANS SOUDURE, EN CUIVRE ROUGE

DIAMÈTRE INTÉRIEUR EN MILLIMÈTRES	ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES											
	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	3	3 1/2	4	5
10	0k 305	0k 390	0k 479	0k 571	0k 667	0k 766	0k 868	0k 974	1k 085	1k 313	1k 555	2k 085
11	0 333	0 425	0 520	0 620	0 722	0 828	0 938	1 051	1 167	1 410	1 668	2 224
12	0 360	0 460	0 563	0 668	0 778	0 890	1 007	1 127	1 251	1 508	1 779	2 363
13	0 389	0 495	0 604	0 717	0 834	0 953	1 077	1 204	1 334	1 604	1 890	2 502
14	0 417	0 529	0 646	0 766	0 889	1 016	1 146	1 280	1 417	1 702	2 001	2 641
15	0 444	0 564	0 688	0 814	0 945	1 079	1 216	1 357	1 500	1 800	2 113	2 780
16	0 472	0 599	0 729	0 863	1 000	1 141	1 285	1 433	1 583	1 898	2 225	2 920
17	0 500	0 634	0 771	0 912	1 056	1 203	1 355	1 509	1 668	1 994	2 335	3 057
18	0 528	0 670	0 813	0 960	1 112	1 266	1 424	1 586	1 751	2 091	2 446	3 197
19	0 556	0 703	0 854	1 009	1 167	1 329	1 494	1 661	1 835	2 189	2 557	3 336
20	0 583	0 737	0 895	1 058	1 223	1 391	1 563	1 739	1 918	2 286	2 669	3 475
25	0 722	0 912	1 105	1 301	1 500	1 704	1 911	2 120	2 335	2 713	3 225	4 170
30	0 861	1 086	1 312	1 544	1 778	2 017	2 258	2 502	2 751	3 200	3 781	4 865
35	1 000	1 259	1 522	1 788	2 057	2 330	2 606	2 886	3 169	3 686	4 337	5 560
40	1 139	1 433	1 730	2 030	2 335	2 643	2 954	3 268	3 585	4 172	4 893	6 255
45	1 278	1 607	1 939	2 274	2 613	2 954	3 300	3 650	4 003	4 659	5 449	6 950
50	1 417	1 781	2 147	2 516	2 890	3 268	3 649	4 033	4 420	5 146	6 005	7 645
55	1 556	1 955	2 356	2 761	3 169	3 580	3 996	4 415	4 836	5 632	6 560	8 340
60	1 695	2 128	2 564	3 004	3 447	3 894	4 343	4 796	5 254	6 119	7 117	9 035
65	1 835	2 302	2 773	3 246	3 735	4 205	4 690	5 179	5 671	6 605	7 672	9 730
70	1 975	2 476	2 980	3 491	4 003	4 519	5 038	5 561	6 088	7 092	8 229	10 425
75	2 113	2 650	3 190	3 735	4 280	4 832	5 386	5 944	6 505	7 578	8 785	11 121
80	2 252	2 823	3 398	3 977	4 560	5 145	5 737	6 326	6 922	8 063	9 340	11 815
85	2 390	2 998	3 607	4 220	4 837	5 459	6 080	6 709	7 340	8 549	9 897	12 510
90	2 530	3 170	3 815	4 464	5 115	5 772	6 426	7 091	7 757	9 034	10 453	13 206
95	2 670	3 345	4 024	4 707	5 395	6 086	6 777	7 474	8 174	9 520	11 010	13 900
100	2 808	3 518	4 233	4 950	5 671	6 400	7 124	7 856	8 590	10 005	11 566	14 596

Digitized by Google

112. Étain. — L'étain est un métal blanc argentin, très malléable, très mou; il a une odeur et une saveur caractéristiques. Lorsqu'on le ploie, il fait entendre un bruit particulier. Sa densité est de 7,29.

L'étain ne s'emploie pas seul; il entre dans la composition d'un grand nombre d'alliages.

Voici un tableau donnant les poids et les dimensions courantes des tuyaux d'étain du commerce.

La longueur varie de 10 mètres à 100 mètres, suivant les diamètres.

DIAMÈTRE intérieur en mm.	ÉPAISSEUR en mm.	POIDS du metre courant.	DIAMÈTRE intérieur en mm.	ÉPAISSEUR en mm.	POIDS du mètre courant.
5	1 1/4	0k170	12	2	0k700
6	1 1/2	0 250	14	2	0 800
7	1 1/2	0 280	16	2	0 900
8	1 1/2	0 310	20	2 1/2	1 350
9	1 1/2	0 350	25	3	1 850
9	2	0 540	30	3	2 300
10	1 1/2	0 450	35	3 1/2	3 200
10	2	0 650	40	3 1/2	3 500
12	1 1/2	0 500			

113. Plomb. — Le plomb est un métal blanc bleuâtre, à surface brillante, lorsqu'il vient d'être râclé, laissant une tache grise lorsqu'on la frotte sur le papier.

Sa densité est 11,4. Il fond vers 335°. Il est très malléable et très ductile; ses fils ont peu de ténacité. Le plomb s'oxyde vite à l'air; l'eau de pluie dissout facilement l'hydrate d'oxyde qui s'est formé; l'eau ordinaire ne le dissout pas. Le plomb, chauffé, se recouvre d'une pellicule irisée d'oxyde qui se transforme, sous l'influence de la chaleur, en protoxyde de plomb jaune ; à 100°, le plomb se ramollit déjà beaucoup, c'est ce qui fait qu'on l'emploie peu dans les conduites de vapeur; par contre, il est très usité pour les conduites d'eau de faible diamètre, et pour les conduites de gaz.

On emploie deux méthodes pour obtenir le plomb en feuilles.

Le métal est coulé en plaques sur des tables bien dressées,

Digitized by Google

ou laminé à froid entre deux cylindres de $0^m,40$ de diamètre, tournant avec une vitesse de 8 à 10 mètres par minute. Le plomb doit être coulé à température très basse.

Pour obtenir des feuilles minces, le plomb est coulé sur des toiles de coutil graissées avec du suif, et tendues avec une inclinaison de 1/6 environ sur l'horizontale.

TABLEAU DU PLOMB LAMINÉ EN TABLES

Epaisseur en millimètres.	1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
Poids du mètre carré en kil.	11^k35	17^k00	$22^k\ 7$	$28^k\ 4$	34^k »	45^k »	56^k »	68^k »

114. TABLEAU DES TUYAUX EN PLOMB POUR CONDUITES A GAZ OU CONDUITES D'EAU

(*Poids par mètre de longueur*)

DIAMÈTRE INTÉRIEUR en mm.	ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0^k86	1^k39	2^k00	2^k68	3^k43	4^k25	5^k14	6^k10	7^k13
13	1 07	1 71	2 43	3 21	4 07	5 00	6 00	7 06	8 20
15	1 21	1 93	2 71	3 57	4 50	5 50	6 57	7 71	8 91
20	1 57	2 46	3 43	4 46	5 57	6 74	8 00	9 31	10 70
25	1 93	3 00	4 14	5 35	6 63	7 98	9 42	10 91	12 48
30	2 28	3 53	4 85	6 24	7 70	9 24	10 85	12 52	14 26
40	3 00	4 60	6 28	8 03	9 84	11 73	13 70	15 73	17 83
50	3 71	5 67	7 71	9 81	11 98	14 23	16 55	18 94	21 39
60	4 42	6 74	9 13	11 59	14 12	16 73	19 41	22 15	24 96
70	5 14	7 81	10 56	13 37	16 26	19 22	22 26	25 36	28 52

Le plomb vaut de 45 à 50 francs les 100 kilogrammes.

115. Zinc. — Le zinc est un métal blanc bleuâtre à cassure cristalline et lamelleuse. Sa densité est 6,86. Entre 100 et 150°, il est assez malléable pour se laisser laminer en feuilles de très faible épaisseur, ou étirer en fils très fins. A 200°, il est cassant et se pulvérise sous le marteau. A froid, il est

Digitized by Google

moins mou que l'étain et le plomb ; son coefficient de dilatation est très élevé ; il se rompt sous une charge de 4 kilogrammes par centimètre carré de section. Le zinc se ternit et s'oxyde rapidement à l'air sous l'influence des agents atmosphériques ; la couche d'oxyde formée préserve le reste du métal. On l'emploie dans la couverture, car il n'altère pas les eaux pluviales. On l'utilise dans la fabrication du fer galvanisé, des objets d'ornements (zinc repoussé) ; dans ces dernières années on est parvenu à mouler le zinc.

Le zinc se lamine en feuilles de petites dimensions pour les doublages, et en feuilles de plus grandes dimensions pour toitures et autres ouvrages. Le numéro du zinc indique l'épaisseur de la feuille, qui peut se déterminer facilement, d'ailleurs, à l'aide d'un palmer.

Emploi de feuilles de zinc (*d'après Claudel*). — *Nos 1 à 9.* — Les feuilles s'emploient pour la perforation, pour les cribles, stores et tamis en zinc, et pour le satinage des papiers ; pour la fabrication des miroirs, éteignoirs, tabletterie, articles de Paris ;

Nos 10 et 11. — Fabrication de lampes, lanternes, ferblanterie en général. On estampe facilement ces deux numéros, pour girouettes, clochetons. On en a appliqué quelquefois le long des murs pour préserver l'habitation des atteintes de l'humidité ;

Nos 12 et 13. — Fabrication des seaux, brocs, arrosoirs, bains de pieds, couvertures de hangars, corniches, etc. ;

No 14. — Spécial aux toitures : c'est le plus employé ;

Nos 15 et 16. — Couvertures de monuments, chéneaux, caisses d'eau, doublage des navires aux endroits peu fatigués ;

No 17. — Baignoires de grandes dimensions, doublage des navires à l'avant ;

Nos 18 à 26. — Employés pour pompes, garniture des cuves à papeterie, réservoirs et cristallisoirs pour raffineries.

Les feuilles nos 1 à 5 ne sont laminées que sur commande spéciale, à dimensions réduites et à prix débattus. Les feuilles no 6 se vendent avec une plus-value de 5 francs par 100 kilogrammes, sur le cours officiel des numéros du commerce (nos 8 à 26) ; et le no 7 avec une plus-value de 2 francs par 100 kilogrammes.

Digitized by Google

Le zinc est employé à la galvanoplastie du fer : on procède au décapage de la tôle, et on la plonge ensuite dans le zinc fondu ; le bain de trempe est recouvert de beurre d'antimoine. Il sert également à galvaniser la fonte.

116. POIDS ET DIMENSIONS DES FEUILLES DE ZINC DU COMMERCE

NUMÉROS	ÉPAISSEUR en MILLIMÈTRES	DIMENSIONS ET POIDS DES FEUILLES					POIDS du MÈTRE CARRÉ
		POUR DOUBLAGE DE NAVIRES		POUR TOITURES ET AUTRES EMPLOIS			
		Larg. 0m35 Long. 1m15	Larg. 0m40 Long. 1m30	Larg. 0m50 Long. 2m00	Larg. 0m65 Long. 2m00	Larg. 0m80 Long. 2m00	
9	0mm45	»	»	3k15	4k10	5k00	3k15
10	0 50	»	»	3 50	4 55	5 60	3 50
11	0 58	»	»	4 05	5 25	6 50	4 05
12	0 66	»	»	4 60	6 00	7 40	4 62
13	0 76	»	»	5 20	6 75	8 30	5 18
14	0 85	»	»	5 75	7 45	9 20	5 75
15	0 96	2k65	3k45	6 65	8 65	10 65	6 65
16	1 09	3 00	3 95	7 55	9 80	12 10	7 55
17	1 22	3 45	4 45	8 45	11 00	13 55	8 47
18	1 35	3 80	4 90	9 40	12 20	15 00	9 39
19	1 48	4 55	5 89	10 30	13 35	16 45	10 30
20	1 63	»	»	11 20	14 55	17 90	11 20
21	1 82	»	»	12 45	16 20	19 90	12 45
22	1 99	»	»	13 70	17 80	21 90	13 71
23	2 16	»	»	15 00	19 50	23 90	14 99
24	2 35	»	»	16 25	21 10	26 00	16 25
25	2 53	»	»	17 50	22 70	28 00	17 50
26	2 65	»	»	18 75	24 10	30 00	18 75
Surface des feuilles		0m²402	0m²520	1m²000	1m²300	1m²600	

117. Nickel. — Le nickel est un métal blanc grisâtre, à cassure fibreuse. Il est ductile et malléable et peut se laminer et étirer en fils fins ; il ne s'oxyde pas à l'air froid, et est inaltérable par les acides organiques. Le nickel sert à la fabrication des monnaies et entre dans la composition d'alliages usités. Le nickel en couche mince, obtenu par bain

Digitized by Google

électrolytique, disparaît promptement sous l'action de la vapeur d'eau. Densité, 8,27 à 8,80.

118 Aluminium. — L'aluminium est un métal blanc légèrement bleuâtre, très ductile et très malléable. Il est inaltérable à l'air à toutes les températures, et bon conducteur de la chaleur. Il est très sonore et extrêmement léger (sa densité est 2,56). L'aluminium est employé à la fabrication de différents objets : longues-vues, lunettes ; en tenant compte de la différence de poids spécifiques, la réduction de poids obtenue dans la fabrication d'appareils où le fer est actuellement en usage ne serait pas moindre de 60 0/0.

On a essayé dernièrement d'appliquer l'aluminium à la construction de cages d'extraction, à la confection de câbles, de lampes de sûreté ; malheureusement, son prix est encore très élevé (actuellement le kilogramme d'aluminium vaut de 5 à 6 francs). L'aluminium peut se souder à lui-même, ou avec d'autres métaux, en employant comme soudure un alliage d'étain et d'aluminium (10 parties d'étain pour 100 parties d'aluminium). Il entre dans la composition d'un bronze très apprécié.

§ 8. — Alliages. — Bronzes. — Laitons. — Métal antifriction. — Mastics

119. Les alliages sont de véritables métaux doués de propriétés spéciales, et satisfaisant à certaines conditions de dureté, de fusibilité, de malléabilité que ne possèdent pas les métaux simples qui les constituent.

On les obtient en faisant fondre les métaux que l'on veut allier dans des creusets en terre, en ayant soin de recouvrir la masse de poussière de charbon, pour éviter toute oxydation. On est obligé, toutefois, d'augmenter la proportion du métal le plus oxydable et le plus volatil, pour compenser les pertes inévitables. On doit brasser l'alliage, couler et refroidir rapidement, pour diminuer autant que possible les effets de la *liquation* et de la cristallisation, qui nuisent à l'homogénéité de l'alliage : la pression diminue sensiblement les fâcheux effets produits par la liquation.

En général, les produits obtenus sont plus durs que les

Digitized by Google

métaux dont ils sont formés, mais moins ductiles et moins malléables; ils sont plus fusibles que le moins fusible des métaux qui les composent.

120. Bronzes. — La composition du bronze varie avec la nature et les usages des objets que l'on veut obtenir. Le zinc fait prendre au bronze une teinte verdâtre (*patine*), qui contribue à sa conservation en formant une espèce de vernis.

Voici la composition des bronzes les plus employés :

Bronze des monnaies, médailles, etc. :

Cuivre....	95	Étain....	4	Zinc....	1

Bronze des canons :

Cuivre....	90.1	Étain....	9.9

Bronze des cloches :

Cuivre....	80	Étain....	20

Cet alliage a un grain compact et est très sonore.

Après la fusion il est très fragile; trempé après réchauffage au rouge, il devient malléable et se travaille au marteau; chauffé à nouveau et refroidi lentement, il reprend sa dureté et sa sonorité.

Bronze d'aluminium :

Cuivre....	90	Aluminium ...	10

Très dur et très malléable.

Bronze des miroirs de télescopes :

Cuivre....	67	Étain.....	33

Alliage blanc, susceptible d'un beau poli.

Bronze pour les pendules :

Cuivre....	71	Étain....	27	Fer....	2

Digitized by Google

Pour les pièces de machines, l'industrie emploie des bronzes très différents. A la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée, on emploie, pour les pièces à frottement circulaire, telles que bielles, coussinets de boîtes à graisse ou de bielles motrices :

Cuivre....	82	Étain....	18	Zinc....	

Pour les pièces à frottement alternatif :

Cuivre....	84	Zinc.....	2	Étain...	14

Pièces sans frottement (robinets, sifflets) :

Cuivre....	90	Étain....	8	Zinc....	2

Tubes à fumée :

Cuivre....	70	Étain....	30

Poignées, contre-poignées, charnières :

Cuivre....	65	Étain....	35

Le *bronze rouge* est un alliage très riche en cuivre ; on s'en sert également pour les coussinets de machines; il contient :

Cuivre....	87	Étain....	13

Le *bronze phosphoreux* est extrêmement tenace et résistant; il se lamine à froid, s'étire à la forge ; on l'emploie pour les pièces fatiguant beaucoup (têtes de bielles, pignons de laminoirs).

On a deux formules généralement employées :

1°	Cuivre....	90.34	Étain....	8.90	Phosphore....	0.76
2°	Cuivre....	90.86	Étain....	8.18	Phosphore....	0 96

Le *métal blanc* pour coussinets est très répandu à cause de son prix peu élevé. Les compositions les plus en usage sont :

Cuivre....	8	Étain....	80	Antimoine....	12
Cuivre....	5.6	Étain. ..	83.2	Antimoine....	11.2

Pour grandes charges :

Cuivre....	2	Étain....	90	Antimoine....	8

Digitized by Google

Pour faibles charges :

Cuivre....	8	Étain....	82	Antimoine....	10

121. Laiton (cuivre jaune). — L'alliage le plus commun de cuivre et de zinc contient 2/3 de cuivre et 1/3 de zinc. Il graisse à la lime et se travaille difficilement au tour.

Les laitons plombeux ont l'avantage de se laisser scier et perforer avec netteté et de ne pas graisser les limes ; l'étain, en petite proportion, augmente la dureté du laiton ; on emploie souvent l'alliage suivant :

Cuivre...	60	Étain....	1	Plomb....	3	Zinc...	36

Le laiton pour tréfilerie doit être plus tenace ; aussi, on augmente la proportion du cuivre :

Cuivre....	65	Zinc....	34	Étain et Plomb....	1

L'alliage qui renferme 50 de cuivre et 50 de zinc est employé sous le nom de soudure forte.

Nous citerons encore :

Le *chrysocale* (pour bijoux faux) :

Cuivre...	90.25	Zinc...	7.9	Plomb..	1.6	Étain...	0.25

Le *tombac*, ou *cuivre blanc* (instruments de musique) :

Cuivre....	97	Zinc....	2	Arsenic ..	1

L'*alliage anglais* (pour couverts à argenter) :

Cuivre....	81.50	Zinc....	10.50	Étain....	8

L'*étamage* du laiton a pour but d'éviter l'oxydation, ou vert-de-gris, produite par l'action de l'air ou des acides.

Pour *étamer* les épingles, par exemple, on commence par les décaper à l'aide d'une dissolution chaude de crème de tartre ; puis, on place successivement, dans un bassin en cuivre, une couche d'épingles, une couche d'étain en grenaille, une couche de crème de tartre, une nouvelle couche d'épingles, etc. On remplit la cuve d'eau, et on la chauffe ; il faut une heure pour terminer l'opération.

L'étamage du laiton n'est pas très efficace ; dans certains

Digitized by Google

cas, on préfère procéder au zingage du cuivre. On décape les pièces avec de l'acide chlorhydrique étendu; puis, on les plonge dans un bain contenant de la grenaille de zinc, du sel ammoniac et de l'eau.

122. TUYAUX EN LAITON, SANS SOUDURE

Poids du mètre

DIAMÈTRE EXTÉRIEUR	ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES								
	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	3
millim.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
10	0 240	0 292	0 340	0 385	0 427	»	»	»	»
15	0 373	0 458	0 540	0 619	0 694	0 766	0 834	0 899	0 961
20	0 507	0 625	0 741	0 852	0 961	1 066	1 168	1 260	1 361
25	0 640	0 792	0 941	1 086	1 228	1 366	1 502	1 633	1 762
30	0 774	0 959	1 141	1 320	1 495	1 667	1 835	2 001	2 162
35	0 907	1 126	1 341	1 533	1 762	1 967	2 169	2 368	2 563
40	1 041	1 293	1 542	1 787	2 029	2 268	2 503	2 735	2 964
45	1 174	1 460	1 742	2 021	2 296	2 568	2 837	3 102	3 364
50	1 308	1 627	1 942	2 254	2 563	2 868	3 171	3 469	3 765
55	1 441	1 794	2 142	2 488	2 830	3 169	3 504	3 836	4 165
60	1 575	1 961	2 342	2 722	3 097	3 469	3 838	4 204	4 566
65	1 709	2 127	2 543	2 955	3 364	3 770	4 172	4 571	4 966
70	1 842	2 294	2 743	3 189	3 631	4 070	4 506	4 938	5 367
75	1 976	2 461	2 944	3 423	3 898	4 371	4 840	5 309	5 767
80	2 109	2 628	3 144	3 656	4 165	4 671	5 173	5 672	6 168
85	2 243	2 795	3 344	3 890	4 432	4 971	5 507	6 040	6 569
90	2 376	2 962	3 544	4 124	4 700	5 272	5 841	6 407	6 969
95	»	»	3 745	4 357	4 967	5 572	6 175	6 774	7 370
100	»	»	»	4 591	5 234	5 873	6 509	7 141	7 770

123. Alliages divers. — *Alliage de Darcet:*

Bismuth... 8 Plomb.. 5 Étain.... 5

Maillechort :

Cuivre.... 50 Zinc.... 25 Nickel... 25

Métal anglais :

Étain.... 100 Antimoine... Bismuth.... 1 Cuivre... 4

Digitized by Google

Métal antifriction :

Cuivre.....	5	Étain....	71	Antimoine....	24

Alliage fusible à 100° :

Bismuth....	5	Plomb....	2	Étain....	3

Alliage fusible à 200° :

Bismuth....	8	Plomb....	5	Étain....	3

Alliage fusible à 250° :

Bismuth....	8	Plomb....	8	Étain....	8

Ces trois alliages servent pour obtenir des bains métalliques destinés à la trempe des outils.

124. Mastics. — Pour faire des joints non démontables, tels que les fonds de cylindres de machines à vapeur, on emploie le *mastic de fonte*, composé de :

20 parties de limaille ou de tournure de fonte non rouillée;
1 — de fleur de soufre ;
1 — de sel ammoniac.

Il faut triturer ce mélange dans de l'eau, et l'employer frais. Les surfaces des joints doivent être parfaitement dressées après décapage. Ce mastic augmente de volume en se desséchant ; il durcit très vite et fait corps avec les diverses parties de l'assemblage à tel point qu'il se produit des arrachements dans les pièces si l'on veut les séparer.

Le *mastic au minium*, employé pour les joints démontables, se compose de parties égales de minium et de céruse, mélangées au marteau pendant quatre heures avec de l'huile de lin. Ce mastic ne résiste pas à une trop grande chaleur ; il se conserve dans l'eau.

Pour le bois, on emploie généralement deux sortes de mastics :

1° Un *mastic liquide* pour poser les panneaux dans leur feuillure, composé de 75 0/0 de blanc de Meudon, 25 0/0 d'huile de lin, et 2 grammes de filasse coupée en bouts de 1 centimètre par 1 kilogramme de mastic ;

Digitized by Google

2° Un *mastic solide* formé de 80 0/0 de céruse, 9 0/0 de blanc de Meudon, 1 0/0 d'huile de lin, 1 0/0 de noir de fumée, et 5 grammes de filasse coupée en morceaux de 3 centimètres pour 1 kilogramme de mastic.

§ 9. — Soudures

125. Peu de métaux se soudent à eux-mêmes sans interposition de corps étrangers ; aussi est-on obligé de se servir d'alliages fusibles pour réunir deux parties distinctes d'un même métal. Les soudures doivent être malléables, et pouvoir résister aux chocs ; elles doivent être plus fusibles que les métaux à souder ; on emploie principalement les alliages suivants :

1° *Soudure des plombiers :* constituée par 2 parties de plomb pour 1 d'étain ; elle se vend en baguettes dans le commerce ;

2° *Soudure des ferblantiers :* c'est un alliage de plomb et d'étain en parties égales ; au rouge, il s'enflamme et donne la *potée d'étain* dont on se sert pour polir les métaux. Cet alliage se vend également en baguettes ;

3° *Soudures des chaudronniers :* comprennent la *soudure forte* composée de 52 de cuivre et de 48 de zinc, et la *soudure molle* constituée par 25 parties de cuivre et 75 de zinc. La première sert au *brasage* des tubes de cuivre ; la seconde est employée pour réunir des lames de fer trop minces à souder.

Les potiers d'étain emploient des alliages de plomb et d'étain, dont le plus usité contient environ 15 0/0 de plomb.

La soudure pour le fer est composée de 65 parties de cuivre et de 35 parties d'étain.

L'alliage le plus résistant à la traction renferme 55 de cuivre, 43 de zinc et 2 d'étain ; il est dur et peu ductile, mais il se forge bien et est peu oxydable.

Soudure autogène. — S'emploie pour le fer, l'acier, le platine et le plomb. Nous ne nous occuperons ici que de ce dernier métal qui est beaucoup plus fusible que les précédents et permet un travail plus facile. Pour souder deux lames de

Digitized by Google

plomb, on décape soigneusement la feuille avec de l'acide chlorhydrique étendu, et on détermine la fusion du plomb avec un jet de flamme oxhydrique.

Pour faciliter la soudure de l'acier, on emploie une poudre composée de 10 parties de borax et de 1 partie de sel ammoniac en cristaux. On fait fondre le mélange et on le réduit en poudre. Dès que l'acier est chaud, on jette cette poudre sur les parties à souder.

Cément. — On emploie pour l'*aciérage* du fer un *cément* composé de sang séché, de sel ammoniac, de sel ordinaire, de suie de bois, de corne carbonisée, d'os et de prussiate de potasse. Ces matières sont mélangées pour former une pâte avec laquelle on frotte le fer avant de le mettre au feu. On chauffe jusqu'à ce que le cément soit calciné à la surface du métal, qu'on plonge alors dans l'eau froide. Cette surface durcit beaucoup, alors que le fer conserve sa qualité douce et résistante à l'intérieur.

Digitized by Google

CHAPITRE II

FABRICATION DE FERS SPÉCIAUX ET DES TOLES

§ 1. — Fabrication des rails d'acier et des grands profilés en fer et en acier

126. Les rails se font maintenant en acier, le fer est abandonné ; cependant on exécute en fer les grands profilés à **I**, en **U**, etc.

Formation des paquets. — On fait les paquets de forme rectangulaire ; on abat souvent les deux angles de la face supérieure ; on emploie du fer puddlé. Pour que les faces des ailes ne présentent pas de lignes de soudage les mises extrêmes sont d'une seule pièce (*fig.* 122), en fer corroyé, pour éviter les criques. Le poids des paquets doit dépasser de 25 à 30 0/0 celui des fers à obtenir, pour tenir compte des déchets de fabrication et des bouts coupés.

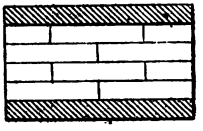


Fig. 122

Chauffage des paquets. — Pour les paquets en fer, le chauffage se fait dans des fours ordinaires ; les paquets sont chauffés au blanc soudant et sortis avec des tenailles. Pour les lingots d'acier, le chauffage se fait dans des fours spé-

Digitized by Google

ciaux (fours à gaz, fours roulants) qui permettent un chauffage continu. Si les lingots sont chauds, obtenus, par exemple, en démoulant des lingots dès que la pellicule solide est assez épaisse pour le permettre, on emploie souvent des cellules accolées, en briques réfractaires (cellules Djers), où les lingots se mettent en équilibre de température. Dans tous les cas, la durée d'une chaude est de une heure et demie à une heure trois quarts.

Serrage des paquets. — Il se fait au pilon ou dans des laminoirs blooming. Les lingots n'ont pas besoin d'être serrés. Le diamètre des cylindres du laminoir est de $0^m,80$ ou de 1 mètre. A la sortie, les blooms serrés subissent le laminage.

Laminage des blooms. — Avant de passer au jeu dégrossisseur, il est souvent nécessaire de réchauffer les lingots ; les

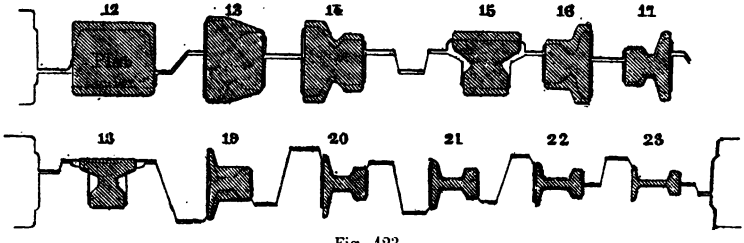


Fig. 123

blooms de fer peuvent être laminés sans réchauffage. Le jeu dégrossisseur est trio ou réversible, ce dernier est préférable pour les gros lingots; on fait six à huit passes, et l'on assure au jeu *finisseur*, généralement réversible; on procède à cinq à six passes. Au sortir de la dernière passe, le lingot glisse sur des rouleaux pour arriver au banc de la scie. La figure 123 représente le diagramme du laminage d'un rail Vignole; les cylindres dégrossisseurs ont six cannelures, et les cylindres finisseurs six également. Le diamètre des cylindres finisseurs est de $0^m,65$ à $0^m,75$; la vitesse est de 80 à 120 tours à la minute.

Digitized by Google

Affranchissement des barres. — Dressage. — Les extrémités des barres présentent des irrégularités; aussi est-on obligé de couper les bouts. Au sortir de la dernière cannelure finisseuse, la barre est amenée au banc de la scie qui en coupe l'une des extrémités.

Puis, le rail encore rouge est conduit au *refroidissoir;* les barres sont placées sur un plancher en fonte, et on frappe à l'aide de maillets en bois sur les parties courbes ou gauches pour les redresser : c'est le *dressage à chaud.*

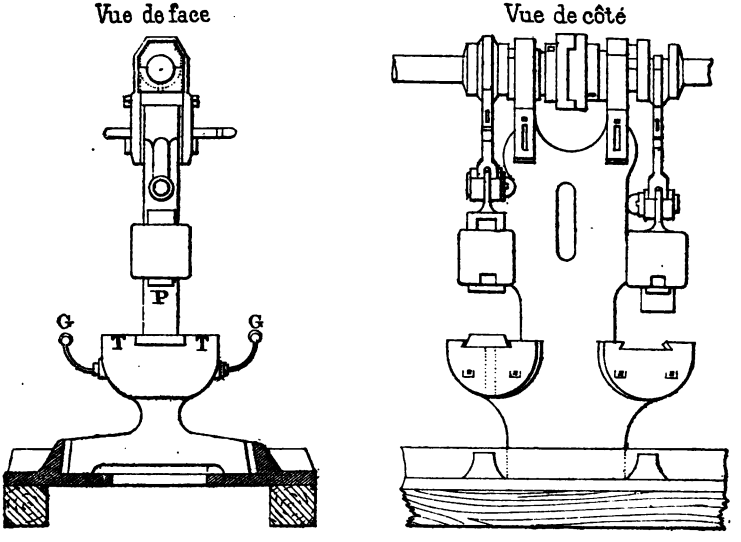


Fig. 124

Le *dressage à froid* se fait à l'aide de presses à excentriques constitués par une table dont la surface supérieure est ajustée; latéralement se trouvent deux galets, dont la circonférence détermine avec la surface de la table une ligne droite (*fig.* 124). Si le rail est courbe, l'ouvrier le redresse à l'aide d'un coin ou d'un poinçon qui l'oblige à s'appuyer sur la table.

Digitized by Google

Quand le rail est bien droit, on vérifie sa longueur à l'aide d'un rail étalon ; puis, on procède au sciage du deuxième bout. Autrefois, on se servait de scies circulaires qui laissaient des bavures qu'on burinait après coup ; aujourd'hui, on coupe les bouts avec des outils tranchants, sortes de machines à planer. Les rails sont serrés en grand nombre sur un tour qui fait deux tiers de révolution par minute ; l'outil ajuste à la fois une douzaine de rails.

On se sert également de fraises possédant deux mouvements : une rotation et une translation lente en avant; le rail est présenté perpendiculairement à l'outil.

On procède ensuite au perçage des trous ; pour les rails d'acier, on emploie la mêche, et non le poinçon qui détériore le métal et le rend cassant.

Le prix de revient des rails d'acier s'élève à 130 francs environ par tonne, sans compter les frais généraux.

§ 2. — Fabrication des barres et des tôles

127. Les fers et aciers battus en barres au marteau de soulèvement ou au pilon, ou les petits fers battus au martinet, proviennent de fers affinés au bas-foyer ; leur fabrication est peu importante.

Les fers et aciers laminés du commerce comprennent les fers et aciers marchands, les fers plats, carrés, ronds, et les fers profilés : cornières, fers à **I**, fers à **T**, en **U**, zorès, fers à vitrages, etc.

Confection des paquets. — Les *barres* proviennent, soit de paquets composés de mises de fer puddlé, soit de lingots.

Les *paquets* sont composés de mises de fer plat, disposés en simple pile ou en double pile, avec couvertures d'une seule pièce, s'il y a lieu (fabrication des fers à **I**) ; ces paquets sont entourés de feuillard, et portés au four à réchauffer où ils sont portés au blanc soudant. Il faut un chauffage énergique ; les fours sont chauffés à la houille ou au gaz (fours Bicheroux) ; la sole est plane et présente une double inclinaison, une de l'autel sur le rampant, l'autre de l'avant à l'ar-

Digitized by Google

rière pour permettre aux scories de s'écouler (*fig.* 125).

La sole est formée de quartz pilé reposant sur un massif en maçonnerie ; le four représenté a deux portes de travail.

On se sert également, pour la confection des paquets, de fers de ferrailles qu'on renferme au milieu de fers puddlés, ou qu'on emploie seuls en les disposant dans des boîtes en tôle. Quand on se sert d'acier, on emploie des billettes de $0^m,30$ à $0^m,50$ de section.

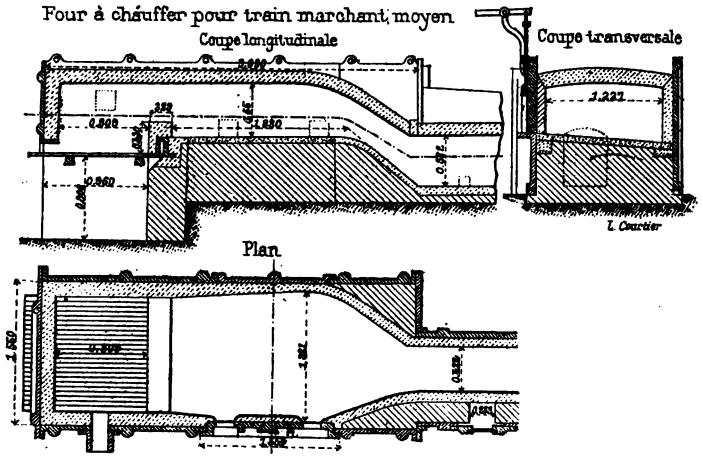


Fig. 125

Serrage des paquets. — Les paquets sont serrés au marteau ou au laminoir ; le marteau-pilon est meilleur, car il permet le soudage complet des mises dans tous les sens. Le laminoir n'est pas aussi efficace ; les cannelures permettent bien de souder les joints, mais le serrage ne se fait que pendant un temps très court.

Les lingots doivent être serrés également pour faire disparaître les soufflures. A la sortie du laminoir ou du marteau on a un bloom incandescent.

Laminage. — Il comprend deux phases : le *dégrossissage*, et le *finissage*.

Digitized by Google

Le bloom qui a subi un réchauffage, s'il y a lieu, passe dans des cannelures qui pétrissent et corroient le métal pour exalter sa plasticité ; ces cannelures sont ogivales et carrées, alternativement. En sortant des dégrossisseurs, le bloom passe dans des cannelures finisseuses dont la dernière présente la section du fer que l'on veut fabriquer ; on procède ensuite au *dressage* et à l'*affranchissement* des barres : ce dressage se fait sur un chantier formé de rails ; on frappe sur les barres

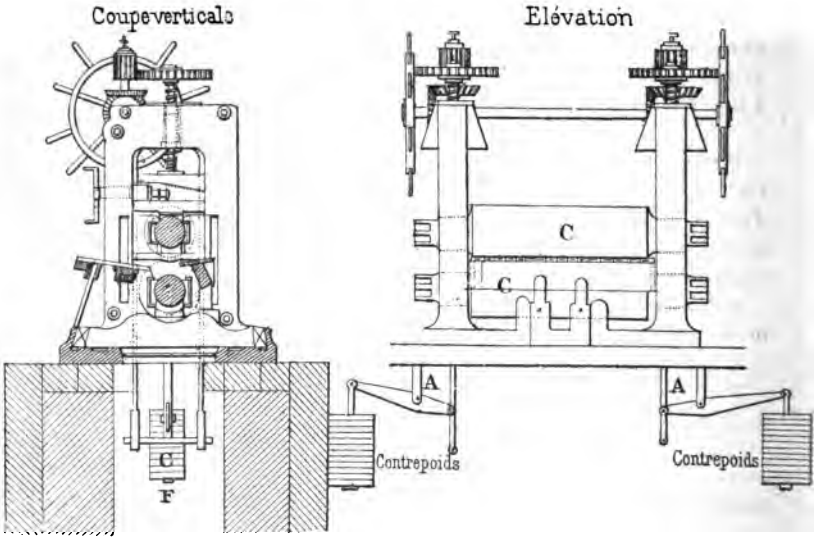


Fig. 126

avec des maillets pour les redresser. Quand les profils sont dissymétriques, les barres ont tendance à se courber dans un sens, on les serre alors les unes contre les autres à l'aide de vis de pression. On affranchit ensuite à la scie.

Quand on veut fabriquer avec économie des fers carrés et plats dont les dimensions ne sont pas rigoureuses, on se sert avec avantage de *fenderies*.

Les fenderies se composent de deux équipages ; le premier,

Digitized by Google

appelé *espatard*, sert de dégrossisseur; c'est un équipage à cylindres unis analogues aux cylindres de tôlerie, mais plus petits. Le train de fenderie proprement dit se compose de deux *trousses*, montées sur colonnes de laminoirs et travaillant de la même façon. Ces trousses sont formées par des couteaux circulaires en acier, séparés par des rondelles de même épaisseur, mais de plus petit diamètre; elles sont calées sur arbres et disposées l'une au-dessus de l'autre, de manière que les taillants de l'une correspondent aux rondelles de l'autre. L'équipage fait de 50 à 80 tours par minute: le fer, d'abord aplati entre les espatards, passe immédiatement entre les trousses qui le découpent en *verges* ou en fer de *fenderie*. Le fer fendu se vend en bottes; les verges servent à la fabrication des clous.

128. Tôles. — Les tôles sont de qualités variables, suivant les usages. On les divise en sept classes allant des tôles d'acier extra-doux soudables, jusqu'aux tôles d'acier dur. On les classe également par épaisseurs; on distingue alors trois espèces de tôle :

1° Les tôles minces dont l'épaisseur varie de 1/2 à 3 millimètres;

2° Les tôles moyennes de 3 à 6 millimètres d'épaisseur;

3° Les tôles fortes, ou grosses tôles, ont de 6 à 20 millimètres d'épaisseur et plus.

Pour la fabrication des tôles de fer, on emploie des fers corroyés en barres plates ou en largets pour constituer les paquets; les fers forts et durs conviennent pour les tôles moyennes et les tôles fortes. Pour les tôles minces, on emploie des tôles à bois.

Les lingots d'acier sont ordinairement coulés dans des lingotières particulières appelées *brahmes*.

Dans la confection des paquets, on intercale des mises avec des barres disposées transversalement; on emploie aussi des couvertes. On chauffe les paquets et on les serre au laminoir ou au marteau; toutefois, le laminoir est le plus généralement employé: pour empêcher les bavures de se produire sur les bords, on emploie des cannelures *universelles;* les cylindres horizontaux peuvent se rapprocher; de

Digitized by Google

plus, deux cylindres verticaux ferment latéralement la cannelure.

Les *brahmes* sont chauffés et passent aux laminoirs de tôlerie. Deux cylindres dégrossisseurs transforment le brahme en une plaque qui a une longueur égale à la largeur de la tôle à obtenir. On réchauffe encore une fois dans des fours dormants à faible tirage, pour éviter l'oxydation ; puis, on lamine la plaque, entre les cylindres finisseurs, à l'épaisseur demandée.

Pour les tôles minces, on lamine en pliant les feuilles sur elles-mêmes, on a successivement deux, quatre, huit, seize épaisseurs qui passent à la fois ; on arrive ainsi à laminer des feuilles de 1/50 de millimètre d'épaisseur.

Les trains de tôlerie employés pour le travail sont soigneusement tournés, coulés en coquille, d'ordinaire en fonte trempée ou en acier ; le cylindre inférieur du train est actionné par le moteur ; le cylindre supérieur tourne par entraînement. Pour les tôles minces, afin d'éviter les ruptures, on équilibre le cylindre supérieur avec des contrepoids (*fig.* 126).

Recuit et dressage à chaud. — Les tôles écrouies sont recuites dans des fours dormants ou en vase clos ; pour les tôles minces, on les frappe avec des maillets pour les dresser, et on les rogne ensuite à la cisaille.

Il faut environ 1.650 kilogrammes de fonte brute pour produire 1.000 kilogrammes de tôle.

129. Fers du commerce. — Classification. — Suivant leurs qualités physiques, on classe les fers de la manière suivante :

1° Le *fer doux*, qui est le fer le plus pur ; il est très malléable, et présente une texture à grain fin et serré.

Il se brûle facilement à la forge et se rouille vite ;

2° Le *fer fort dur*, ou *fer aciéreux*, est employé pour les pièces de grande résistance ;

3° Le *fer fort mou*, moins résistant et moins ductile que le précédent ;

4° Le *fer demi-fort* est intermédiaire entre le fer fort dur et le fer fort mou ;

5° Le *fer rouverin*, ou *métis*, est celui qui contient du

Digitized by Google

soufre ou de l'arsenic. Il est cassant à chaud, et se soude difficilement;

6° Le *fer aigre* est cassant à froid, mais se travaille bien à chaud; sa texture est lamelleuse. Le fer aigre est un fer qui contient du phosphore en quantité appréciable;

7° Le *fer cendreux* présente superficiellement de petites taches grises indiquant la présence de scories dans la masse;

8° Le *fer pailleux* casse facilement par pliage; les pailles proviennent d'un corroyage ou d'un martelage insuffisant;

9° Le *fer brûlé* est cassant à froid, et présente une structure cristalline lamelleuse.

Il provient d'un chauffage trop énergique qui produit la décarburation du métal et une oxydation partielle.

Commercialement, on distingue : les *fers aciérés*, entrant dans la fabrication des outils; les *fers emboutis* à la presse; les *fers creux*, ou fers *gandillot;* enfin, les *fers du commerce*, fers laminés en **I**, en **T**, en **U**, les fers zorès, les cornières, etc., dont les usines offrent des catalogues complets.

Les petits fers martinés se distinguent en : 1° *carillon*, fer carré de 6 millimètres au minimum; 2° *bandelette*, fer rectangulaire de 3 sur 4 millimètres au maximum; 3° *verge ronde* de 7 millimètres de diamètre au maximum; 4° *verge crénelée* de 8 millimètres au maximum.

Les petits fers laminés comprennent : 1° le fer *feuillard*, fer plat de 1 à 4 millimètres d'épaisseur sur 30 à 80 millimètres au maximum; 2° le *ruban*, fer plat de 1/2 à 1 millimètre sur 10 à 30 millimètres au maximum; 3° *carillon*, fer carré de 10 à 30 millimètres au maximum; 4° *bandelette*, fer plat de 2 à 6 millimètres sur 30 à 40 millimètres au maximum; 5° *verge ronde* de 6 millimètres au maximum; 6° les *fers marchands*, plats, carrés ou ronds.

On distingue encore les *fers de fonte*, dont le mode de fabrication a été indiqué (95), les *fers de ferraille*, et les *fers forgés* pour ouvrages de charpente.

Le spécimen de classification en usage pour les fers, donné ci-après, est emprunté à l'ouvrage de M. Résal (*Fonte, Fer et Acier*); les coefficients de résistance et de ductilité doivent être considérés comme des minima garantis par les fabricants

Digitized by Google

130. CLASSIFIC

QUALITÉ	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE					RÉSISTANCE A LA	
						TÔLES : ÉPAISSEURS de 5 à 20 m	
	Carbone	Silicium	Manganèse	Soufre	Phosphore	Sens	Limite d'élasticité
Commun n° 2...	0.08	0.21	0.08	0.04	0. 30	Long.....	20
						Travers ..	17
Ordinaire ou n° 3	0.08	0.20	0.09	0.026	0. 22	Long.....	21
						Travers...	18
Fort ou n° 4....	0.11	0.20	0.10	0.015	0. 16	Long.....	21.5
						Travers...	19
Fer supérieur ou n° 5.....	»	»	»	»	»	Long.....	22
						Travers...	20
Fin ou n° 6	0.12	0.14	0.09	0 012	0.105	Long.....	23
						Travers...	21
Fer extra ou n° 7	0.15	0.10	0.078	0.01	0.053	Long.....	24
						Travers...	22

Digitized by Google

ATION DES FERS

TRACTION ET DUCTILITÉ				EMPLOI
MOYENNES m.		Plats et profilés, U, cornières, tés simp. ou doubles, etc.		
Limite de rupture	Allongement 0/0 mesuré sur 200 mm.	Limite de rupture	Allongement de rupture 0/0	
32	6	34	8	Fers communs pour boulonnerie et serrurerie, tirefonds ; à l'état corroyé, sert pour les rivets du commerce, plaques tournantes, barreaux de grilles, arbres de machines, profilés du commerce, ponts, charpentes pour parquets, chaudières ordinaires, brancards de wagons, réservoirs, caisses de cémentation. Les tôles ne doivent subir qu'un forgeage simple et des effets statiques.
29	3.5			
33	9	35	12	Fers ordinaires pour maréchalerie et serrurerie, fers à cheval, profilés ordinaires des chemins de fer, tôles devant supporter un léger emboutissage au marteau, corps cylindriques, ponts métalliques. Qualité « commune Marine ».
30	5			
33.5	13	36	15	Fers pour boulonnerie et serrurerie de qualité supérieure, fers à bœufs ; corroyé, fournit des rivets de bonne qualité pour ponts et charpentes de navires; profilés supérieurs ; masses de mines, corps cylindriques, viroles, tôles avec bords tombés au marteau pour chaudières. Qualité « ordinaire Marine ».
31	8			
34	16	»	»	Fers forts, tôles à chaudière pour hautes pressions, embouties et bords tombés à la presse; plaques AB des boîtes à fumée. Qualité « supérieure Marine ».
32	12			
35	18	»	»	Fers pour pièces de machines, tiges de tiroirs, bielles d'accouplement, essieux, arbres moteurs, fers profilés de qualité extra ayant à supporter un travail pénible ; maillons de chaînes; en corroyé, rivets de machines, tôles à chaudières de locomotives, foyers, plaques de boîtes à fumée. Emboutis difficiles. Qualité « fine Marine ».
32	14			
36	21			Bielles motrices, tubes et tiges de pistons, essieux droits et coudés, taillanderie en général, pièces mécaniques très tourmentées, d'un travail difficile et soumises à de grands efforts, tôles de coup de feu, emboutis spéciaux, blindage des ponts de navires. Qualité « fine Marine », assimilable à la qualité au bois.
34	16			

Digitized by Google

131. Fers plats

POIDS APPROXIMATIFS EN KILOGRAMMES PAR MÈTRE COURANT

Epais^r 40 mm.	LARGEUR EN MILLIMÈTRES															
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
2	0.156	0.234	0.312	0.389	0.467	0.546	0.623	0.701	0.779	0.857	0.935	1.012	1.091	1.169	1.246	1.325
3	0.233	0.350	0.467	0.585	0.701	0.818	0.935	1.051	1.169	1.285	1.402	1.519	1.636	1.753	1.869	1.987
4	0.312	0.467	0.623	0.779	0.935	1.091	1.246	1.402	1.558	1.714	1.870	2.025	2.181	2.337	2.493	2.649
5	0.390	0.584	0.781	0.974	1 169	1.363	1.558	1.753	1.948	2.142	2 337	2.532	2.727	2.921	3.116	3.311
6	0.467	0.701	0.935	1.169	1.402	1.636	1 870	2.103	2.337	2.571	2 804	3.038	3.272	3.506	3.739	3.973
7	0.545	0.818	1.091	1.363	1.636	1.909	2.181	2.454	2.727	2.999	3.272	3.544	3.817	4.090	4.362	4.635
8	0.623	0.935	1.246	1.558	1.870	2.181	2.493	2.804	3.116	3.428	3.739	4.051	4.362	4.674	4.986	5.297
9	0.700	1.051	1.402	1.758	2.103	2.454	2.804	3.155	3.506	3.856	4.207	4.557	4.908	5.258	5.609	5.959
10	0.779	1.169	1.558	1.948	2.337	2.727	3.116	3.506	3.895	4.285	4.674	5.064	5.453	5.843	6.232	6.622
11	0.857	1.285	1.714	2.142	2.571	2.999	3.428	3.856	4.285	4.713	5.141	5.570	5.998	6.427	6.853	7.284
12	0.935	1.402	1.870	2.337	2 804	3.272	3.739	4 207	4.674	5.141	5.609	6.076	6.544	7 011	7.478	7.946
13	1.013	1.519	2.025	2.532	3.038	3.540	4.051	4 557	5.064	5.570	6.076	6.583	7.089	7.595	8.102	8.608
14	1.090	1.636	2.181	2 727	3.271	3.817	4.362	4 908	5.453	5.998	6.544	7.089	7.634	8.180	8.725	9.270
15	1.169	1.753	2.337	2.921	3.506	4.090	4.674	5.258	5.843	6.420	7.011	7.595	8.180	8.764	9.348	9.932
16	1.246	1.870	2 493	3.116	3.739	4.362	4.986	5.609	6 232	6.855	7.478	8 102	8.725	9.348	9.971	10.59
17	1.324	1.986	2.649	3.311	3.973	4.635	5.297	5.959	6.622	7.284	7.946	8.608	9.270	9.932	10.59	11.26
18	1.402	2.103	2.804	3.506	4 207	4.998	5.609	6.318	7.011	7.712	8.414	9.114	9.815	10.52	11.22	11.92
19	1.480	2.220	2 960	3.700	4.440	5.180	5.920	6 660	7.401	8.141	8 880	9.620	10.36	11.10	11.84	12.58
20	1.558	2.337	3.116	3.895	4.674	5.453	6.232	7.011	7.790	8.569	9.349	10.13	10.91	11.69	12.46	13.24
25	1.948	2.921	3.895	4.869	5.843	6.816	7.790	8.764	9.738	10.71	11.69	12 66	13.63	14.61	15.58	16.55
30	2.337	3.506	4.674	5 843	7.011	8 180	9.348	10.52	11.69	12 86	14.02	15.19	16.36	17.53	18.70	19.86
35	2.727	4.090	5 453	6.816	8.180	9 543	10.91	12.27	13.63	14.99	16.36	17.72	19.09	20.45	21.81	23.17
40	3.116	4.674	6.232	7.790	9.348	10.91	12.46	14.02	15.58	17 14	18.70	20.25	21.81	23.37	24.93	26.49
45	3.506	5 258	7 011	8 764	10.517	12.27	14 02	15.77	17.53	19.28	21.03	22.78	24.54	26.29	28 04	29 80
50	3 895	5 843	7.790	9.738	11.69	13.63	15.58	17.53	19.48	21.42	23.37	25.32	27.27	29.21	31.16	33.11

Digitized by Google

131. Fers plats

POIDS APPROXIMATIFS EN KILOGRAMMES PAR MÈTRE COURANT (*Suite*)

ÉPAISSEUR EN mm.	LARGEUR EN MILLIMÈTRES												
	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
2	1.402	1.480	1.558	1.714	1.870	2.025	2.181	2.337	2.493	2 649	2.804	2.960	3.116
3	2.103	2.220	2.337	2.570	2.804	3.038	3.272	3.506	3.739	3.973	4.206	4.440	4.674
4	2.804	2.960	3.116	3.428	3.739	4.051	4.362	4.674	4.986	5.297	5.609	5.920	6.232
5	3.506	3.700	3.895	4.285	4.674	5.064	5.453	5.843	6.232	6.622	7.011	7.401	7.790
6	4.207	4.440	4.674	5.141	5.609	6.076	6.544	7.011	7.478	7.946	8.413	8.881	9.348
7	4.908	5.180	5.453	5.998	6.544	7.089	7.634	8.180	8.725	9.270	9.815	10.360	10.90
8	5.609	5.920	6.232	6.855	7.478	8.102	8.725	9.348	9.971	10.59	11 22	11.84	12.46
9	6.310	6.660	7.011	7.712	8.413	9.114	9.815	10.52	11.22	11.92	12.62	13.32	14.02
10	7.001	7.401	7.790	8.569	9.348	10.13	10.91	11.69	12.46	13.24	14 02	14.80	15.58
11	7.712	8.141	8.569	9.426	10.28	11.14	12.00	12.85	13.71	14.57	15.42	16.28	17.14
12	8.413	8.881	9.348	10.28	11.22	12.15	13.09	14.02	14.96	15.89	16.83	17.76	18.70
13	9.114	9.621	10.13	11.14	12 15	13.17	14.18	15.19	16.20	17.22	18.23	19.24	20.26
14	9.815	10.36	10.91	12.00	13.09	14.18	15.27	16.36	17.45	18.54	19.63	20.72	21.82
15	10.52	11.10	11.69	12.85	14.02	15.19	16.36	17.53	18.70	19.86	21.03	22.20	23.38
16	11.22	11.84	12.46	13.71	14.96	16.20	17.45	18.70	19.94	21.19	22.44	23.68	24.92
17	11.92	12 58	13.24	14.57	15.89	17.22	18.54	19.86	21.19	22.51	23.84	25.16	26.48
18	12.62	13.32	14 02	15.42	16.83	18.23	19.63	21.03	22.44	23.84	25.24	26.64	28.04
19	13.32	14.06	14.80	16.28	17.76	19.24	20.72	22.20	23.68	25.16	26.64	28.12	29.60
20	14.02	14.80	15.58	17.14	18.70	20.25	21.81	23.37	24 93	26.49	28.04	29.60	31.16
25	17.53	18 50	19.48	21.42	23.37	25.32	27.27	29.21	31.16	33.11	35.06	37.00	38 95
30	21.03	22.20	23.37	25.71	28.04	30.38	32.72	35.06	37.39	39.73	42.07	44.40	46.74
35	24.54	25.90	27.27	29.96	32.72	35.44	38.17	40.90	43.62	46.35	49.08	51.80	54.54
40	28.04	29.60	31.16	34.28	37.39	40.51	43.62	46.74	49.86	52.97	56.09	59.20	62.33
45	31.55	33.30	35 06	38.56	42.07	45.57	49.08	52.58	56 09	59.59	63.10	66.60	70.12
50	35.06	37.00	38.95	42.85	46.74	50.64	54.53	58.43	62.32	66.22	70.11	74 01	77.89

Digitized by Google

132. Fers carrés et ronds

POIDS PAR MÈTRE COURANT EN KILOGRAMMES

DIAMÈTRE ou côté en mm.	FER CARRÉ	FER ROND	DIAMÈTRE ou côté en mm.	FER CARRÉ	FER ROND	DIAMÈTRE ou côté en mm.	FER CARRÉ	FER ROND	DIAMÈTRE ou côté en mm.	FER CARRÉ	FER ROND
5	0 195	0 153	24	4 481	3 520	43	14 39	11 30	110	93 14	73 9
6	0 280	0 220	25	4 863	3 819	44	15 00	11 83	115	102 9	80 84
7	0 381	0 299	26	5 259	4 131	45	15 75	12 37	120	112 0	88 01
8	0 498	0 391	27	5 672	4 455	46	16 46	12 93	125	121 6	95 40
9	0 630	0 495	28	6 100	4 791	47	17 19	13 50	130	131 5	103 38
10	0 778	0 611	29	6 543	5 139	48	17 93	14 08	135	141 8	111 4
11	0 931	0 739	30	7 002	5 499	49	18 68	14 67	140	152 5	119 8
12	1 120	0 880	31	7 477	5 872	50	19 45	15 28	145	163 6	128 5
13	1 315	1 033	32	7 967	6 257	55	23 28	18 48	150	175 1	137 5
14	1 525	1 198	33	8 482	6 654	60	28 01	22 00	155	186 9	146 8
15	1 751	1 375	34	8 994	7 064	65	32 87	25 82	160	197 2	156 4
16	1 992	1 564	35	9 531	7 485	70	38 12	29 94	165	209 6	166 4
17	2 248	1 766	36	10 08	7 919	75	43 76	34 37	170	224 8	176 6
18	2 521	1 980	37	10 65	8 365	80	49 79	39 11	175	238 3	187 1
19	2 809	2 206	38	11 23	8 823	85	56 21	44 15	180	252 1	198 0
20	3 112	2 444	39	11 93	9 294	90	63 02	49 49	185	266 3	209 1
21	3 422	2 665	40	12 45	9 776	95	70 21	55 15	190	280 9	220 6
22	3 726	2 957	41	13 08	10 27	100	77 80	61 10	195	295 9	232 3
23	4 116	3 232	42	13 69	10 78	105	85 55	67 37	200	311 2	244 3

Digitized by Google

133. TABLEAU DONNANT LES POIDS PAR MÈTRE DES TÔLES DU COMMERCE

LARGEUR	ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
millimètres.	kil	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
200	7 8	9 3	10 9	12 4	14 0	15 6	17 1	18 7	20 2	21 8	23 4
210	8 2	9 8	11 4	13 1	14 7	16 3	18 0	19 6	21 2	22 9	24 5
220	8 6	10 3	12 0	13 7	15 4	17 1	18 8	20 6	22 3	24 0	25 7
230	9 0	10 7	12 5	14 3	16 1	17 9	19 7	21 5	23 3	25 1	26 9
240	9 4	11 2	13 1	15 0	16 8	18 7	20 6	22 4	24 3	26 2	28 1
250	9 8	11 7	13 6	15 6	17 5	19 5	21 4	23 4	25 3	27 3	29 2
260	10 1	12 1	14 2	16 2	18 2	20 2	22 2	24 3	26 3	28 3	30 4
270	10 5	12 6	14 7	16 8	18 9	21 0	23 1	25 2	27 3	29 4	31 5
280	10 9	13 1	15 3	17 4	19 6	21 8	24 0	26 2	28 3	30 5	32 7
290	11 3	13 6	15 8	18 1	20 3	22 6	24 8	27 1	29 4	31 6	33 9
300	11 7	14 0	16 3	18 7	21 0	23 4	25 7	28 0	30 4	32 7	35 0
350	13 7	16 3	19 1	21 8	24 5	27 3	30 0	32 7	35 4	38 2	40 9
400	15 6	18 7	21	24 9	28 0	31 2	34 2	37 4	40 5	43 6	46 8
450	17 5	21 0	24 5	28 0	31 5	35 0	38 5	42 1	45 6	49 1	52 6
500	19 5	23 4	27 2	31 2	35 0	39 0	42 8	46 7	50 6	54 5	58 4
600	23 4	28 0	32 7	37 4	42 1	46 7	51 4	56 1	60 7	65 4	70 1
700	27 3	32 7	38 2	43 6	49 1	54 5	60 0	65 4	70 9	76 3	81 8
800	31 1	37 3	43 6	49 8	56 0	62 2	68 5	74 7	80 9	87 1	93 4
900	35 1	42 0	49 1	56 1	63 1	70 1	77 1	84 1	91 1	98 1	105 1
1000	39 0	46 7	54 5	62 3	70 0	77 9	85 7	93 5	101 3	109 0	116 8

Digitized by Google

134. TABLEAU INDIQUANT LES DIMENSIONS DES FERS A I DU COMMERCE, LES MOMENTS D'INERTIE, ET LES MOMENTS DE RÉSISTANCE $R\frac{I}{v}$

Usine du Creusot

HAUTEUR DES FERS	LARGEUR DES AILES	EPAISSEUR de l'âme	POIDS par mètre	VALEUR DE $\frac{I}{v}$	VALEUR DE $R\frac{I}{v}$		
					R = 6k	R = 8k	R = 10k
			PETITES AILES				
0m100	0m042	5 m/m	9k 00	0.00003214	193k	257k	321k
0.100	0.047 1/2	10 1/2	13.00	0.00004195	252	335	419
0.120	0.044	5 1/2	10.00	0.00004697	282	375	469
0.120	0.049 5	11	15.00	0.00006057	303	454	605
0.140	0.047 3/4	6	13.00	0.00006480	389	518	648
0.140	0.053 3/4	12	19.00	0.00008440	506	675	844
0.160	0.052 1/2	6 1/2	15.00	0.00008872	532	709	887
0.160	0.058	12	22.00	0.0001122	673	897	1122
0.180	0.056 1/2	7	18.75	0.0001218	731	974	1218
0.180	0.064 1/2	15	28.50	0.0001596	957	1276	1596
0.200	0.058 1/2	7 1/2	21.20	0 0001537	922	1229	1537
0.200	0.066	15	32.95	0.0001998	1198	1598	1998
0.220	0.062 1/2	8	24.60	0.0001956	1173	1564	1956
0.220	0.070	15 1/2	38.00	0.0002608	1565	2086	2608
			LARGES AILES				
0m125	0m075	7	16k 00	0.00008081	484k	646k	808k
0 125	0.078	10	19.00	0.00008862	531	709	886
0.175	0.080	8	22.50	0.0001379	827	1103	1379
0.175	0.087	15	32.50	0.0001936	1161	1548	1936
0.200	0.090	9	28.00	0.0002193	1316	1754	2193
0.200	0.096	15	37.50	0.0002593	1556	2074	2593
0.200	0.102	10	34.00	0.0002722	1633	2177	2722
0.200	0.107	15	42.00	0.0003055	1833	2444	3055
0.235	0.095	9	32.00	0.0002973	1783	2378	2973
0.235	0.106	10	38.00	0.0003574	2144	2859	3574
0.235	0.100	14	41.00	0.0003434	2060	2747	3434
0.235	0.111	15	47.00	0.0004035	2421	3228	4035
0.250	0.100	10	37.00	0.0003582	2149	2865	3582
0.250	0.105	15	46.50	0.0004103	2469	3282	4103
0.250	0.130	11	46.00	0.0004384	2630	3507	4384
0.250	0.135	16	56.00	0.0004905	2943	3924	4905

Digitized by Google

135. TABLEAU INDIQUANT LES DIMENSIONS DE FER A I DU COMMERCE

LES MODULES DE SECTION $\frac{I}{V}$, ET LES MOMENTS DE RÉSISTANCE $\frac{RI}{V}$

(*Usine de Vezin-Aulnoye*)

HAUTEUR DES FERS	LARGEUR DES AILES	ÉPAISSEUR DE L'AME	POIDS PAR MÈTRE	VALEURS DE $\frac{I}{V}$	VALEUR DE $\frac{RI}{V}$		
					R = 6k	R = 8k	R = 10k
			PETITES AILES				
0m080	0m037	5 m/m	6k50	0.00001991	119k	179k	199k
0 080	0.041	9	9.00	0.00002524	152	201	252
0.100	0.041	5	8.00	0.00003162	190	253	316
0.100	0.046	10	12.00	0.00004079	305	326	408
0.120	0.042	5 1/2	10.00	0.00004508	270	360	450
0.120	0.048	11 1/2	15.50	0.00006188	371	494	618
0.140	0.047	6	12.50	0 00006541	392	523	654
0.140	0.053	12	19.10	0.00008501	510	680	850
0.160	0.048	6 1/2	14.00	0.00008049	483	644	805
0.160	0.056 1/2	15	24.00	0.00011676	700	934	1167
0.180	0.055	8	18.70	0.00012896	773	1031	1289
0.180	0.063	16	30.00	0.00017781	1067	1422	1778
0.200	0.065	7	20.50	0.00016371	982	1310	1637
0.200	0.074	16	34.50	0.00022037	1320	1762	2203
0.220	0.065	8	24.00	0.00020331	1218	1606	2033
0.220	0.073	16	38.00	0.00026586	1595	2126	2658
0.250	0.100	10	36.60	0.00034538	2072	2863	3454
0.250	0.105	15	46.25	0.00039747	2384	3179	3974
0.250	0.115	10	37.75	0.00039145	2348	3131	3914
0.250	0.120	9	39.25	0.00041592	2495	3327	4159
0.250	0.110	8	37.00	0.00039634	2377	3170	3963
0.250	0.116	14	48.40	8.00045884	2753	3670	4588
0.250	0.120	8	43 20	0.00047972	2878	3838	4797
0.250	0.126	14	54.60	0.00054222	3253	4338	5422
0.260	0.117	9	43.30	0.0004857	2914	3885	4857
0.260	0.122	14	53.20	0.0005420	3252	4336	5420
0.300	0.130	11	57.00	0.0007153	4292	5722	7153
0.300	0.135	16	68.60	0.0007903	4742	6322	7903

Digitized by Google

136. FERS EN U

(*Usine du Creusot*)

HAUTEUR	LARGEUR DE L'AILE	ÉPAISSEUR DE L'AME	POIDS PAR MÈTRE	VALEUR DE $\frac{I}{V}$	VALEUR DE $\frac{RI}{V}$		
					R = 6	R = 8	R = 10
0m080	0m030	6m/m	6k500	0.0000176	107	141	176
0.080	0.032	8	7.70	0.0000197	118	157	197
0.100	0.037	7	10.25	0.0000351	210	281	351
0.100	0.041	11	13.25	0.0000417	250	334	417
0.120	0.037	7	11.50	0.0000483	289	386	483
0.120	0.042	12	16.00	0.0000603	362	482	603
0.120	0.043	8	14.00	0.0000588	353	471	588
0.120	0.048	13	18.50	0.0000708	421	566	708
0.120	0.051	9	15.00	0.0000631	379	505	631
0.120	0.055	13	18.70	0.0000727	437	581	727
0.120	0.058	10	16.8	0.0000725	435	580	725
0.120	0.062	14	20.5	0.0000821	493	657	821
0.140	0.045	7	13.00	0.0000678	407	543	678
0.140	0.050	12	18.00	0.0000841	505	673	841
0.140	0.052	8	16.00	0.0000782	469	626	782
0.140	0.057	13	21.00	0.0000945	567	756	945
0.175	0.060	8	19.25	0.0001218	731	974	1218
0.175	0.067	15	28.75	0.0001575	945	1260	1575
0.235	0.085	10	33.65	0.0002897	1738	2318	2897
0.250	0.080	10	32.75	0.0002874	1724	2299	2874

Digitized by Google

137. CORNIÈRES ÉGALES (FER OU ACIER)

(*Forges de Denain et d'Anzin*)

DIMENSIONS en MILLIMÈTRES	POIDS par MÈTRE	DIMENSIONS en MILLIMÈTRES	POIDS par MÈTRE	DIMENSIONS en MILLIMÈTRES	POIDS par MÈTRE
	kil.		kil.		kil.
25 × 25 / 2	0.740	55 × 55 / 5.5	4.430	85 × 85 / 8	9.935
25 × 25 / 4	1.415	55 × 55 / 9	6.950	85 × 85 / 13	15.485
30 × 30 / 3	1.280	60 × 60 / 6	5.240	90 × 90 / 9	11.790
30 × 30 / 4.5	1.935	60 × 60 / 10	8.400	90 × 90 / 14	17.680
35 × 35 / 3.5	1.745	65 × 65 / 6.5	6.150	100 × 100 / 10	14.720
35 × 35 / 5	2.518	65 × 65 / 11.5	10.350	100 × 100 / 15	21.200
40 × 40 / 4	2.280	70 × 70 / 7	7.130	110 × 110 / 11	17.615
40 × 40 / 7	3.960	70 × 70 / 11	10.800	110 × 110 / 15	23.450
45 × 45 / 4.5	2.885	75 × 75 / 7.5	8.190	120 × 120 / 12	20.960
45 × 45 / 8	4.243	75 × 75 / 12	12.600	120 × 120 / 16	27.345
50 × 50 / 5	3.660	80 × 80 / 8	9.315	130 × 130 / 13	24.580
50 × 50 / 8	5.704	80 × 80 / 12	13.525	130 × 130 / 17	31.560

Digitized by Google

138. CORNIÈRES INÉGALES (FER OU ACIER)

(*Forges de Denain et d'Anzin*)

DIMENSIONS en MILLIMÈTRES	POIDS par MÈTRE	DIMENSIONS en MILLIMÈTRES	POIDS par MÈTRE	DIMENSIONS en MILLIMÈTRES	POIDS par MÈTRE
	kil.		kil.		kil.
25 × 40 / 3.5	1.600	50 × 80 / 10	9.150	80 × 100 / 9	11.800
25 × 40 / 4.5	2.200	60 × 80 / 6.5	6.770	80 × 100 / 14	17.780
30 × 45 / 4	2.300	60 × 80 / 8 1/4	8.580	70 × 110 / 9	11 800
30 × 45 / 5	2.800	70 × 80 / 8	8.755	70 × 110 / 13	16.540
35 × 55 / 4.5	3.000	70 × 80 / 10 5	10.963	80 × 120 / 10	14 570
35 × 55 / 6.5	4.320	70 × 90 / 8	9.485	80 × 120 / 14	19.940
40 × 60 / 5	3.700	70 × 90 / 12	14.230	70 × 130 / 10	14.730
40 × 60 / 7	5.180	60 × 95 / 8	9.172	70 × 130 / 14	19.940
50 × 70 / 4.5	4.060	60 × 95 / 12	13.760	90 × 130 / 11	17.800
50 × 70 / 6.5	5 860	50 × 100 / 7.5	8.185	90 × 130 / 15	23.450
50 × 80 / 6.5	6.150	50 × 100 / 11	11.650	90 × 150 / 12	21.600

Digitized by Google

§ 3. — Fabrication du fil de fer et d'acier

139. Les fils se définissent d'après le numéro de jauge. Il existe plusieurs systèmes de jauges ayant chacun leur unité; en France la jauge décimale exprime le diamètre des fils en 1/10 de millimètre. Elle comprend quarante numéros.

Numéros.....	40	38	35	30	24	20	18	15	12	10	9	8
Diamètre en 1/10 de mm.	200	180	150	100	64	44	34	24	18	15	14	13
Numéros.....	7	6	5	4	3	2	1					
Diamètre en 1/10 de mm.	12	11	10	9	8	7	6					

JAUGE CENTÉSIMALE

Numéros.....	10	15	20	25	30	36
Diamètre en 1/100 de mm.	60	40	30	25	20	14

On se sert également d'autres jauges, dont on trouvera ci-après un aperçu. M. Richard a proposé, en 1894, un système unique dans lequel chaque numéro désignerait en 1/10 de millimètre, le diamètre du fil correspondant.

140. JAUGE DE PARIS

NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE
	millim.		millim.		millim.		millim.
P 15	0 15	P 2	0.42	10	1.50	22	5.40
P 14	0 16	P 1	0.46	11	1.60	23	5.90
P 13	0.17	P	0.50	12	1.80	24	6.40
P 12	0.18	1	0.60	13	2.00	25	7.00
P 11	0.20	2	0.70	14	2.20	26	7.60
P 10	0.22	3	0.80	15	2.40	27	8.20
P 9	0.23	4	0.90	16	2.70	28	8.80
P 8	0.25	5	1.00	17	3.00	29	9.40
P 7	0.27	6	1.10	18	3.40	30	10.00
P 6	0.28	7	1.20	19	3.90		
P 5	0.31	8	1.30	20	4.40		
P 4	0.34	9	1.40	21	4.90		

Digitized by Google

141. CLASSIFICATION DU FIL DE FER SUIVANT LA JAUGE DE LIMOGES

NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE
	millim.		millim.		millim.		millim.
0	0.39	7	1.12	13	1.91	19	3.95
1	0.45	8	1.24	14	2.02	20	4.50
2	0.56	9	1.35	15	2.14	21	5.10
3	0.67	10	1.46	16	2.25	22	5.65
4	0.79	11	1.68	17	2.84	23	6.20
5	0.90	12	1.80	18	3.40	24	6.80
6	1.01						

142. JAUGE DE BIRMINGHAM (B. W. G.)

NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE
	millim.		millim.		millim.		millim.
0000	11.531	7	4.572	17	1.473	27	0.406
000	10.795	8	4.191	18	1.245	28	0.356
00	9.652	9	3.759	19	1.067	29	0.330
0	8.636	10	3.404	20	0.889	30	0.305
1	7.620	11	3.048	21	0.813	31	0.254
2	7.213	12	2.768	22	0.711	32	0.229
3	6.519	13	2.413	23	0.635	33	0.203
4	6.045	14	2.108	24	0.559	34	0.178
5	5.588	15	1.829	25	0.508	35	0.127
6	5.145	16	1.651	26	0.457	36	0.102

143. JAUGE CARCASSE OU DU COMMERCE

NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE	NUMÉROS	DIAMÈTRE
	millim.		millim.		millim.		millim.
P	0.50	22	0.32	34	0.14	46	0.07
12	0.47	24	0.29	36	0.12	48	0.06
14	0.44	26	0.26	38	0.11	50	0.05
16	0.40	28	0.22	40	0.10		
18	0.37	30	0.20	42	0.09		
20	0.34	32	0.17	44	0.08		

144. Le fer destiné à la tréfilerie doit être facile à travailler à chaud, fort et doux à froid pour pouvoir subir l'action de la

Digitized by Google

filière, et plutôt dur que mou ; aussi emploie-t-on les meilleurs fers puddlés ou des fers au bois.

Le fil de fer se fait avec du fer laminé rond, appelé *petit fer de tréfilerie*, *petit rond*, ou *machine de fer ou d'acier ;* pour fabriquer des fils d'un diamètre supérieur au n° 18 (jauge française), on fabrique toujours un fer laminé de deux numéros supérieurs, et on passe à la filière. On se sert de billettes carrées de $0^m,04$ de côté et de $0^m,80$ à 1 mètre de longueur ; on les réchauffe au réverbère, et on lamine ces billettes dans des trains spéciaux à cinq cages.

La première cage est celle du cylindre préparateur ; il est à cannelures ovales ; les deux suivantes sont les cages dégrossisseuses ; la quatrième est à cannelures carrées, la dernière à cannelures ovales. Les cylindres finisseurs, ont deux cages ; au sortir de la dernière cannelure finisseuse, le fil est enroulé sur un dévidoir. On enlève la *couronne* obtenue, et on la place dans un étouffoir où elle se refroidit lentement.

Tréfilage. — La couronne ainsi obtenue est toujours oxydée ; avant de passer à la filière, on fait un décapage initial dans l'acide sulfurique étendu, on laisse la couronne dans le bain

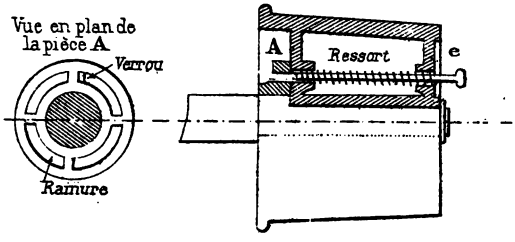


Fig. 127

pendant deux ou trois heures ; on met en ébullition avec un jet de vapeur ; puis, l'on trempe dans l'eau pure.

La *filière* est une plaque d'acier percée d'une série d'ouvertures à parois très dures et très résistantes. Les trous sont faits à l'aide de poinçons coniques ; chaque poinçon peut,

Digitized by Google

servir pour trois ou quatre trous différents, mais on est obligé de le retremper très souvent.

Pour permettre le passage de la machine dans la filière, on épointe l'extrémité du fil pour le saisir de l'autre côté de la filière à l'aide d'une griffe nommée chien, et on exerce une traction dans l'axe du trou. Pour diminuer la résistance au tréfilage, les frottements sont adoucis avec du suif. La traction s'effectue à l'aide de bobines (*fig.* 127), qui sont folles sur leur axe et tournent par entraînement; tant que le fil de fer qui s'enroule sur cette bobine exerce une traction, l'embrayage a lieu ; quand le fil ne tire plus, un déclenchement se produit, et la bobine s'arrête. Après deux passages à la filière, le fil est recuit en vases clos et décapé ; le recuit a pour but de donner de la dureté au métal et de diminuer l'aigreur.

Après le dernier tréfilage, on procède à un recuit modéré.

La vitesse du tréfilage dépend de la qualité du fer: le fer puddlé nécessite une vitesse moins grande que celle employée pour le fer affiné au charbon de bois.

Pour obtenir du fil de fer cuivré, on met dans le dernier bain de tréfilage du sulfate de cuivre.

Pour avoir du fil *galvanisé*, on prend les bottes de fil de fer qu'on décape et qu'on étend dans un bain de zinc recouvert d'une couche de graisse et de sel ammoniac ; puis, on passe de nouveau à la filière pour enlever l'excès de zinc.

La fabrication des *fils d'acier* exige moins de main-d'œuvre que celle des fils de fer; le décroissement des trous à la filière est plus rapide ; on effectue moins de recuits, et on opère sur de plus grandes quantités.

Le fil de fer se vend en bottes de 5 à 6 kilogrammes. On fait des bottes d'acier de 25 à 30 kilogrammes.

145. Propriétés mécaniques des fils. — Résistance. — Câbles. — Le tableau ci-contre indique le classement donné par la Compagnie de Châtillon et Commentry, qui livre au commerce cinq catégories de fils présentant des résistances graduées depuis 60 kilogrammes jusqu'à 220 kilogrammes par millimètre carré. La qualité des fils, le nombre de pliages et la résistance moyenne qu'ils peuvent donner avant

Digitized by Google

et après leur câblage, d'après les diamètres ordinaires, sont définis dans le tableau suivant :

NUMÉRO des CATÉGORIES	RÉSISTANCE DES FILS CLAIRS PAR mm² DE SECTION		Résistance moyenne admise dans les calculs des câbles	PLIAGES MOYENS entre mâchoires arrondies de 10 mm. de rayon	
	Avant câblage	Après câblage		Fil n° 12	Fil n° 13
	Kilos	Kilos	Kilos		
I. Métal doux.....	65 à 75	55 à 75	60	19	14
II. Qualité ordinaire	85 à 95	75 à 85	80	19	14
III. Qualité à grande résistance.....	130 à 140	115 à 125	120	20	18
IV. Qualité supér.	150 à 160	135 à 145	140	24	21
V. Qualité extra-supérieure.....	210 à 225	195 à 205	200	30	23

Le tréfilage augmente la résistance du métal; celle-ci sera donc plus élevée pour les fins numéros que pour les gros; mais, par contre, l'allongement élastique s'accroît avec le diamètre. On peut admettre, d'une façon approximative, que, pour les qualités I et II, la résistance moyenne augmente de 2 kilogrammes environ par numéro au-dessous du n° 22. Le nombre de pliages est d'autant plus grand que le diamètre du fil est plus petit.

La galvanisation détermine, d'autre part, un certain adoucissement du métal, et la résistance des fils galvanisés est généralement inférieure à celle des fils clairs; la réduction atteint 2 0/0 pour les numéros voisins du n° 12.

Le *câblage* entraîne, enfin, une certaine réduction de résistance des fils, de sorte que la résistance totale du câble est inférieure à la somme des résistances individuelles avant câblage de ceux-ci. On admet souvent que le rapport de ces deux quantités est de 7/8. Cette réduction augmente pour les câbles à double et triple enveloppe, surtout lorsque les fils employés sont de petits diamètres; dans les grelins en fils fins, elle dépasse le 1/4 de la résistance avant câblage. On trouvera, dans le tableau suivant, la résistance de la section totale des fils de chaque numéro pour la qualité la plus usitée (R = 90 kilogrammes par millimètre carré).

Digitized by Google

TABLEAU INDIQUANT, D'APRÈS LA JAUGE DE PARIS ET LA JAUGE ANGLAISE, LES POIDS, SECTIONS ET RÉSISTANCES AVANT ET APRÈS CABLAGE DES FILS LES PLUS USITÉS (QUALITÉ ORDINAIRE, R = 90).

(*Châtillon-Commentry*)

NUMÉROS FRANÇAIS	NUMÉROS ANGLAIS	DIAMÈTRE	SECTION	POIDS DE 1.000 mètres	LONGUEUR D'UN Kilogramme	RÉSISTANCE à la rupture avant câblage	RÉSISTANCE à la rupture après câblage
			mm²	kg.	m.	kg.	kg.
P	25	5	0.196	1.53	653.60	17.64	15.68
1	24	6	0.287	2.20	454.54	25.83	22.96
2	23	7	0.385	3. »	333.33	34.65	30.80
3	22	8	0.503	3.92	255.10	45.27	40.24
4	21	9	0.360	4.96	201.61	57.24	50.88
5	20	10	0.785	6.12	163.40	70.65	62.80
6	19	11	0.950	7.41	134.95	85.50	76 »
7	18	12	1.130	8.81	113.50	101.70	90.40
8	»	13	1.327	10.35	96.62	119.43	106.16
9	17	14	1.539	12. »	83.33	138.51	123.12
10	»	15	1.767	13.78	72.57	159.03	141.36
11	16	16	2.011	15.68	63.77	180.99	160.88
12	15	18	2.545	19.84	50.40	229.05	203.60
13	»	20	3.142	24.48	40.85	262.78	251.36
14	14	22	3.801	29.64	33.74	342.09	304.08
15	13	24	4.524	35 28	28.34	407.16	361.92
16	12	27	5.725	44.63	22.40	515.25	458 »
17	11	30	7.068	55.13	18.14	636.12	565.44
18	10	34	9.079	70.82	14.12	817 »	726.32
19	9	39	12.045	93.17	10.73	1 084.05	963.60
20	8	44	15.205	118.59	8.43	1 368.45	1 216.40
»	7	46	16.619	129.62	7.71	»	»
21	»	49	18.857	147.08	6.80	1 697.13	1 508.56
»	6	52	21.237	165.63	6.04	»	»
22	»	54	22.902	178.63	5.59	2 061.18	1 832.16
»	5	56	24 630	192.09	5.21	»	»
23	»	59	27.340	213.24	4.69	2 460.60	2 187.20
24	»	64	32.170	250.91	3.99	2 895.30	2 573.60
»	3	66	34.212	266.84	3.75	»	»
25	»	70	38.485	300.19	3.33	3 463.65	3 078.80
»	2	72	40.715	317.57	3.15	»	»
26	1	76	45.365	353.84	2.82	4 082.85	3 629.20
27	0	82	52.810	411.91	2.43	4 752.90	4 224.80
28	00	88	61.821	474.38	2.11	5 563.89	4 945.68
29	000	94	69.393	541.28	1.85	6 245.8	5 551.84
30	0000	100	78.541	612.59	1.63	7 068.6	6 283 28

Digitized by Google

Les coefficients de sécurité devront être choisis dans chaque cas d'après le travail auquel est destiné le câble; on prendra le 1/10, le 1/8, ou le 1/6 de la charge de rupture.

Les *câbles métalliques* se substituent de jour en jour aux câbles textiles en chanvre ou en aloès, car, à résistance égale, ils sont moins coûteux, moins lourds, moins encombrants, et se détériorent moins sous l'action des hautes températures et des fermentations qu'elles développent.

La *souplesse* seule pouvait créer une infériorité au câble métallique; mais, en employant des fils très fins, on arrive à réaliser des câbles d'une souplesse parfaite. En général, on peut dire que la raideur des câbles en acier doux est environ dix fois moindre que celle des cordes de chanvre de même poids, et soumises à la même tension.

La souplesse des câbles est d'autant plus grande qu'ils sont composés de fils plus fins, que le métal est plus doux, et que le pas des fils et des torons est plus faible.

La *résistance* d'un câble donné est déterminée par la somme des résistances individuelles, après câblage des fils qui le composent; on néglige habituellement, pour plus de sécurité, la résistance des âmes, même lorsque celles-ci sont formées de fils métalliques.

Il peut arriver qu'au bout de quelque temps de service un câble présente une résistance totale supérieure à celle qu'il avait à l'état neuf, et cela malgré la rupture de certains fils exposés à une usure particulière. Ce fait, paradoxal en apparence, s'explique en considérant que, dans les essais de traction pratiqués sur un câble, les fils cassent toujours les uns après les autres; dans les câbles neufs, les fils n'ont pas encore pris de positions de misage qui les soumettent à une résistance et à un allongement uniformes dans toute la section du câble; ce fait se produit, au contraire, sous l'action de l'effort en service et donne ainsi à tous les fils une tension homogène qui explique le surcroît de résistance observé.

Il est extrêmement important de tenir les câbles constamment lubrifiés.

Digitized by Google

§ 4. — Fabrication des fers blancs et des tôles plombées

146. On appelle *fer noir*, ou *tôle fine*, les produits qui sont employés à la fabrication du *fer blanc;* leur épaisseur varie de $0^m,001$ à $0^m,0006$; ils proviennent de fers de fonte au bois affinée au bois, ou d'acier doux obtenu au four Martin. Les dimensions de ces tôles sont variables : on distingue les feuilles simples qui ont 265/380; les feuilles doubles : $2 \times 265/380$ ou $265/2 \times 380$; et les feuilles quadruples de $2 \times 265/2 \times 380$.

Quand on recouvre le fer d'étain pur, on obtient le fer blanc *brillant ;* quand l'étain employé est allié de plomb, on obtient le fer blanc *terne ;* enfin, quand le plomb domine, on obtient la tôle *plombée.*

1° **Préparation des tôles.** — Les feuilles découpées à la cisaille subissent un *dérochage* dans un bain d'acides chlorhydrique et sulfurique mélangés et étendus d'eau ; on ajoute souvent dans ce bain du goudron qui arrête l'attaque du métal et empêche la formation de gravelures. Au sortir du bain, on lave les feuilles à l'eau bouillante ; puis, on recuit et on polit. S'il y a des irisations à la surface, on plonge les feuilles dans un bain d'acide organique et on polit de nouveau au laminoir, on rince à l'eau pure, et on récure avec du sable fin et des étoupes ; plus la surface est polie, plus l'économie d'étain est grande.

2° **Étamage ou finissage.** — L'étamage se fait avec une batterie de cinq chaudières en fonte : la première est la *chaudière à graisse ;* elle contient de la vieille graisse ou de l'huile de palme ; 2° on y plonge les pièces qu'on redresse et qu'on trempe dans la *chaudière à étame*, remplie d'étain recouvert de graisse ; l'étain est chauffé au *noir ;* on y laisse les feuilles trois à cinq minutes ; 3° la *chaudière à rafraîchir*, ou à grossir, renferme de l'étain pur à la température du jaune ; on enlève l'excédent d'étain qui recouvre les feuilles à l'aide d'une brosse ; 4° la *chaudière à tirer l'étain* contient de l'étain fondu *neuf* au jaune paille ; au fond, se

Digitized by Google

trouve un peigne servant à tirer l'étain ; 5° la *chaudière à tirer la graisse*, dans laquelle se trouvent deux cylindres de laminoirs : on introduit les feuilles latéralement ; elles passent entre les deux cylindres ; l'excédent d'étain se trouve enlevé.

On nettoie ensuite les feuilles dans des caisses remplies de farine ou de son ; on les essuie avec des peaux de mouton. Les feuilles s'expédient en caisses de 100, 150, 200, 225.

Pour l'étamage des fers blancs *ternes*, les bains contiennent un alliage de plomb et d'étain ; on recouvre ces bains de chlorure de zinc (beurre de zinc), car à 400° environ, température de chauffe, la graisse prendrait feu.

Pour la fabrication des tôles plombées, on opère dans deux chaudières de grandes dimensions, contenant un alliage de 9/10 de plomb et de 1/10 d'étain, le plomb s'alliant très mal au fer. On opère sur des feuilles de 1 mètre de largeur.

Digitized by Google

CHAPITRE III

TRAVAIL DES MÉTAUX. — MACHINES-OUTILS

§ 1. — Constitution d'un atelier. — Travail du fer. — Forge. — Feux de forge. — Outillage. — Mode d'action des outils. — Différentes sortes de soudures. — Exemples. — Machine à souder.

147. Un atelier de constructions mécaniques comprend : 1° un *atelier de forge*, avec feux de forge, presses, marteaux-pilons, machines à souder, fours à réchauffer et laminoirs ;

2° Un atelier de *chaudronnerie en fer et en cuivre*, où l'on dresse les fers et les tôles et contenant des machines à cisailler, à poinçonner, à cintrer, des machines à river et des bancs à tirer ;

3° Une *fonderie* et un *atelier de préparation des modèles*, avec cubilots, grues, moules, étuves, machines à bois diverses, tours, etc. ;

4° Un *atelier d'ajustage* des pièces métalliques, où l'on procède au tournage, rabotage, mortaisage, perçage, filetage, alésage, etc. ;

5° Un *atelier de montage*, où l'on procède à l'assemblage et à la mise en place des pièces diverses ; il contient des établis d'ajusteurs, des étaux et des machines à percer.

Il faut citer, comme exemples de bonnes dispositions d'ateliers, l'installation de la Société de Fives-Lille et celle des Anciens Établissements Cail.

Digitized by Google

Travail du fer. — Le forgeage a pour but de changer de forme une pièce de fer portée au rouge blanc; à cette température le fer se manie facilement. On chauffe les pièces à travailler au feu de forge; pour les échantillons de faibles dimensions, on emploie des petites forges, dites forges *maréchales* (*fig.* 128). La forge fixe, toujours appuyée contre un mur, se compose d'une table en maçonnerie, creusée d'une cavité où l'on met le combustible; c'est la *paillasse* A; la partie verticale qui limite le foyer et dans laquelle débouche la tuyère est le *contre-feu* C; la *hotte* H donne passage aux produits de la combustion; et le *soufflet*, qui donne le vent, se manœuvre par l'intermédiaire d'une chaîne tenue de la main gauche par le forgeron. On entretient le feu avec du combustible qui s'agglomère facilement; en chauffant graduellement, on forme une voûte sous laquelle on dispose les pièces à forger.

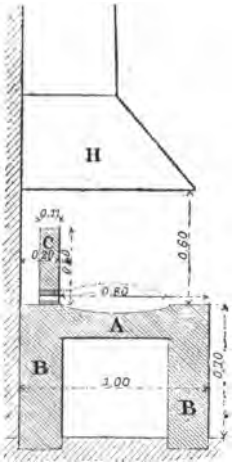


Fig. 128

On emploie quelquefois des feux de forges doubles ou quadruples; ces dernières ont des hottes en tôle qui réverbèrent la chaleur; elles exigent beaucoup de place.

Pour le travail sur chantier, on a recours à des forges portatives, mobiles sur roues, d'un usage très commode; la figure 129 en donne un exemple.

Le réchauffage des pièces de grandes dimensions se fait dans des fours spéciaux, les feux de forge étant insuffisants.

Outillage. — Les outils de forge sont l'*enclume*, table en fer ou en fonte terminée, à l'une de ses extrémités, par un cône, et à l'autre, par une pyramide; elle repose sur un solide massif de bois appelé *chabotte* (*fig.* 130).

Le travail de forge comprend trois opérations : l'étirage, le refoulement et le planage.

Digitized by Google

L'étirage s'effectue à l'aide d'outils rectangulaires, qui laissent couler le métal latéralement. Le refoulement et le planage se font avec des outils carrés ou circulaires, qui produisent un écrasement égal en tous les points; l'effet produit varie selon la frappe.

On compte par feu de forge :

Trois marteaux à main de $1^k,500$ à $2^k,500$;

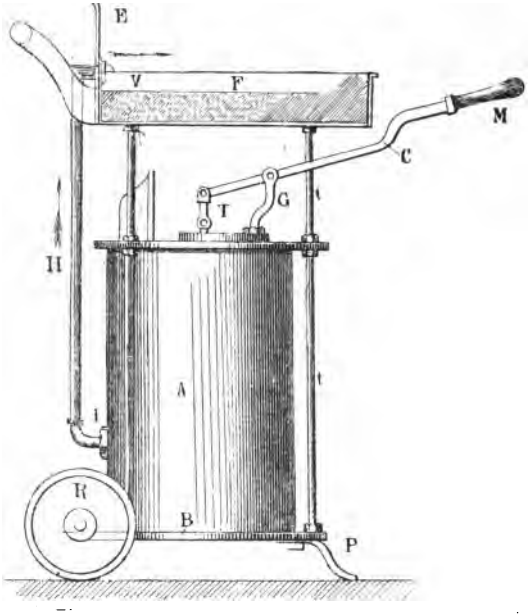


Fig. 129

Deux marteaux à devant, de 8 à 10 kilogrammes;

Une tranche à froid;

Un tranché fixe, couteau terminé par une tige recourbée que l'on introduit dans le trou A de l'enclume;

Deux dégorgeoirs, outils servant à produire des cannelures;

Deux chasses carrées, servant à régulariser la surface des pièces;

Digitized by Google

Une chasse à parer, de plus grandes dimensions que les précédentes;

Deux chasses rondes, pour préparer les raccords de pièces;

Une chasse à biseau pour cannelures;

Enfin, cinq tranches à chaud, trois gouges, six poinçons, des étampes et des contre-étampes, sortes de chasses entre lesquelles on place la pièce à obtenir; des mandrins de formes diverses et des tenailles à section variable.

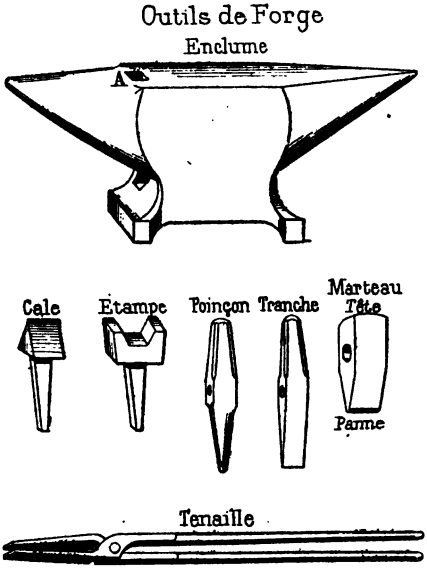


Fig. 130

148. Différentes sortes de soudures. — 1° *Soudure en bout :* les pièces sont soudées bout à bout (*fig.* 131); la partie hachée indique les parties chauffées;

2° *Soudure par encollage :* une des pièces est placée debout et chauffée à l'extrémité que doit recevoir la soudure. On emploie quelquefois ce procédé pour fabriquer les arbres de manivelle, mais il n'est pas excellent (*fig.* 132);

Digitized by Google

3° *Soudure croisée ou à chaude portée :* les deux pièces sont coupées en biseau, refoulées à leurs extrémités (*fig.* 133). Souvent on intercale entre les pièces de petites masses de fer en forme de coin, on a alors la *soudure en coin ;*

4° *Soudure en gueule de loup :* cette soudure est employée quand on soude deux pièces de qualités différentes; la pièce de moins bonne qualité est la moins chauffée. La figure 134 représente un encollage en gueule de loup, pour pièce à chapeau ;

Fig. 131

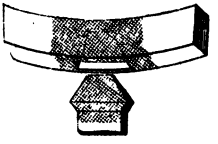


Fig. 134

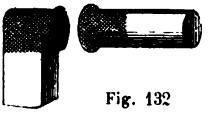


Fig. 132

Fig. 133

Fig. 135

5° *Soudure par recouvrement à plat :* les deux pièces sont placées l'une sur l'autre (*fig.* 135), et soudées par leur surface de contact.

On ajoute parfois des *lardons* (têtes de bielles); on a ainsi la soudure par *rechargement;* on conçoit qu'on peut combiner différents modes de soudage, selon le résultat à obtenir.

Exemples de travail de forge : roue en fer forgé. — On prépare autant d'éléments qu'il y a de bras; ces éléments ont une longueur suffisante pour former une partie de la jante; on perce un trou au poinçon et on découpe le fer en deux parties (*fig.* 136) qu'on relève pour former la jante; on martelle le reste après réchauffage pour donner au bras sa forme. Ces divers éléments sont ensuite rassemblés dans un collier

Digitized by Google

muni de poignées, et tenus à l'aide de coins en fer C. On porte au feu de forge pour chauffer le centre. Pour former le moyeu on ajoute deux bagues recouvrant les soudures et donnant l'épaisseur nécessaire. On soude successivement les différentes parties de la jante, après avoir disposé des coins en fer triangulaires, qu'on maintient avec du fil de fer et qu'on martelle suffisamment.

On forge également au marteau-pilon (*fig.* 137) et à la presse hydraulique. Les roues de locomotives se font entièrement au marteau. On prend une masse de fer qu'on rabat sur elle-même pour composer le moyeu et le corps de la manivelle motrice ; on perce des mortaises pour loger les bras dans le moyeu; ceux-ci sont faits à part et terminés

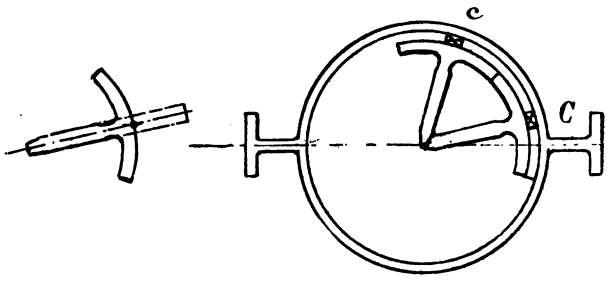


Fig. 136

par des tenons. La jante est formée d'un seul morceau cintré, soudé soigneusement à ses extrémités; elle porte des mortaises à l'endroit des bras. On porte ces différentes parties assemblées à froid au four à réverbère; on les chauffe au blanc soudant. Le marteau-pilon présente, à son extrémité, une étampe de même forme que la roue à obtenir; à la place de l'enclume, une contre-étampe de mêmes dimensions ; la roue placée sur la contre-étampe reçoit cinq ou six coups de pilon, et la soudure est complète. On est obligé de réchauffer assez souvent la pièce pendant le travail.

On emploie aussi la presse hydraulique qui a l'avantage de supprimer les vibrations qui se produisent avec le marteau-pilon.

Digitized by Google

On fabrique les écrous par moulage du fer à la presse ou à la machine à forger. Les laminoirs à excentriques permetten

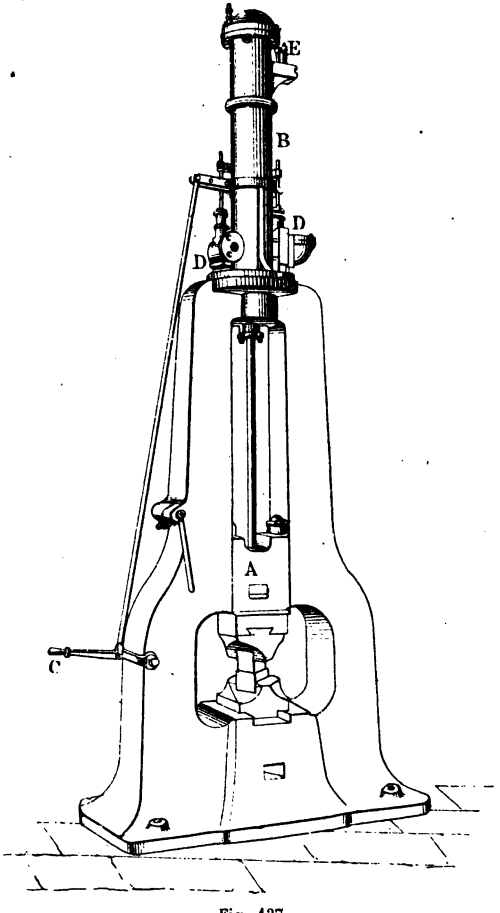


Fig. 137

d'obtenir des pièces de dimensions courantes ; c'est avec ces laminoirs qu'on fabrique des clous, des barreaux de grilles, des sabres-baïonnettes, etc.

Digitized by Google

149. La machine à souder, employée avec avantage dans les ateliers du chemin de fer du Nord, est intéressante à connaître.

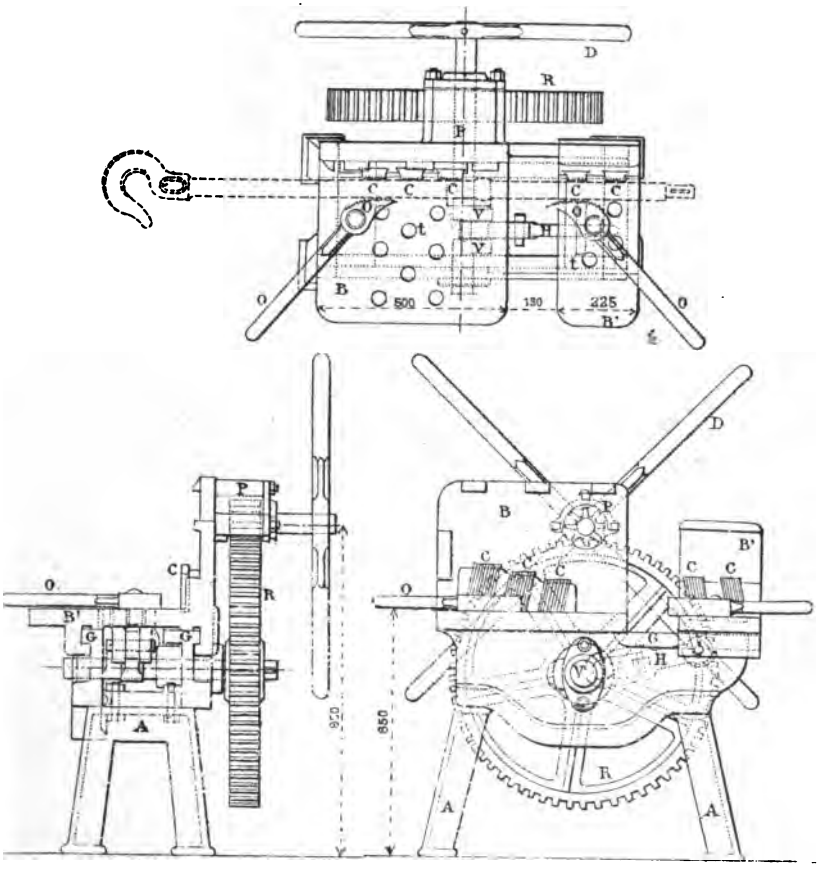


Fig. 138

Elle se compose (*fig.* 138) d'un bâti en fonte A, supportant deux plateaux en forme d'équerre, l'un fixe B, l'autre mobile B'. Ils sont armés à la base de plaques cannelées C en

Digitized by Google

acier, encastrées en queues d'aronde, contre lesquelles sont dressées les pièces à travailler. Le plateau B′ coulisse sur le plateau A entre deux guides G venus de fonte avec celui-ci. L'avancement du plateau mobile s'opère par l'intermédiaire d'une bielle H qui reçoit le mouvement d'un vilebrequin V actionné par la roue R. On fixe les pièces à travailler aux plateaux au moyen de griffes O_1O_1 dentelées, qu'on peut déplacer dans des trous *t* selon les dimensions des pièces. Pour refouler une pièce, on la place, convenablement chauffée, entre les griffes, et on fait tourner le croisillon du plateau mobile. Pour souder, on opère de même.

L'adhérence obtenue est parfaite ; cette machine évite la nécessité de préparer les amorces, ce qui permet de souder plus rapidement. Les soudures, par bout, obtenues offrent une résistance incomparablement supérieure aux soudures par amorces (Bricogne).

§ 2. — Chaudronnerie en fer : Dressage. — Traçage. — Découpage. — Poinçonnage. — Rabotage et chanfreinage. — Cintrage. — Emboutissage. — Montage. — Rivure.

150. Dressage. — Le dressage se fait à la main quand les pièces sont de faibles dimensions ; s'il s'agit de fers profilés, on les dresse au tas, à l'aide d'un marteau ; on frappe le fer sur la portion à redresser qui se trouve en porte-à-faux sur la table. Pour dresser les tôles, ou les fers plats, on emploie des tables en fonte de $0^m,900$ sur $0^m,400$, dont la face supérieure est parfaitement plane. La tôle glisse sur des rouleaux à axes parallèles portés sur des chevalets. Une équipe de quatre ouvriers peut dresser 100 mètres carrés de tôle en dix heures.

Les pièces de grandes dimensions, telles que les rails, sont dressées à la presse. On construit également des machines à planer les tôles employées surtout dans les établissements de la marine.

151. Traçage. — Le chaudronnier exécute ses travaux à l'aide de dessins tracés généralement à une échelle réduite.

Digitized by Google

Pour les surfaces limitées par des droites, on trace la forme avec des cordeaux ; pour les parties courbes, on emploie des gabarits en zinc ; les trous indiqués à l'aide des lignes d'axes sont percés au pointeau (*fig.* 193). Pour repérer un trou qui doit disparaître, on se sert du pointeau à trois pointes, qu'on enfonce dans deux positions perpendiculaires.

Fig. 139

152. Découpage. — Le découpage a pour but de donner aux fers les contours déterminés par le traçage ; il se fait à la main ou mécaniquement. On ne peut découper à la main que des tôles ne dépassant pas

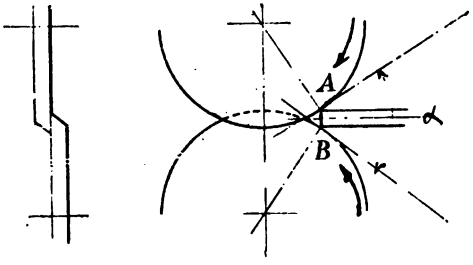


Fig. 140

5 millimètres d'épaisseur ; encore faut-il employer des cisailles à levier, très puissantes.

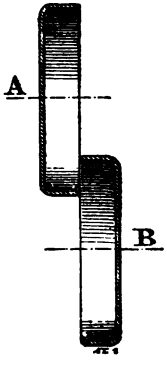


Fig. 141

Pour les feuilles minces ne dépassant pas 1 millimètre d'épaisseur, on se sert de cisailles à main, grands ciseaux trempés dont les branches recourbées laissent, lorsqu'elles sont fermés, un espace suffisant pour que l'ouvrier puisse y loger la main. On emploie également des cisailles circulaires mues à la main; elles ont l'avantage de donner un travail continu et de permettre de découper les courbes, mais les lames se gauchissent facilement; de plus, leur affûtage est difficile.

Pour les grosses tôles, on emploie des

Digitized by Google

cisailles circulaires mues mécaniquement : deux disques de même diamètre, montés sur deux axes parallèles, tournent en sens inverse, et peuvent se rapprocher l'un de l'autre. On ne peut pas cisailler des tôles trop épaisses, les points de contact A, B, s'éloignant, la tôle n'est plus appelée (*fig.* 140). Pour que le taillage ait lieu, il faut que l'angle α formé par les deux lames à leur point de rencontre ne dépasse pas 25°.

On augmente l'épaisseur de la tôle à scier en donnant aux disques une forme ondulée ; on diminue ainsi, de place en place, l'angle α.

Si un plateau s'ébrèche, il faut diminuer son diamètre pour le réparer, ainsi que le diamètre de l'autre plateau; pour remédier à cet inconvénient on forme les disques avec une tôle emboutie (*fig.* 141) A, B. Si l'une des lames s'ébrèche, on diminue à la meule son épaisseur, sans avoir à toucher à l'autre.

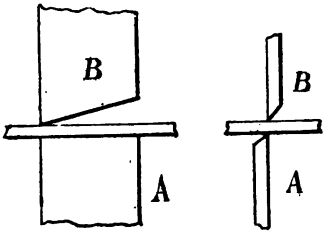


Fig. 142

On distingue deux catégories de cisailles à lames droites :

1° Les *cisailles à excentrique ;* 2° les *cisailles à levier.*

Dans l'un et l'autre cas, les lames sont en acier trempé ; l'une A est fixe (*fig.* 142) ; l'autre B est mobile et présente une inclinaison de 1/6 environ, afin de n'attaquer la tôle que sur un point à la fois. Quel que soit l'outil employé, il se produit sur les bords découpés de la tôle une déformation pouvant nuire à la solidité (*fig.* 143).

Fig. 143

1° *Cisailles à excentrique.* — Les cisailles à excentrique sont constituées essentiellement par un arbre actionné par une roue dentée C, et terminé par un excentrique (*fig.* 144). Cet excentrique est entouré par le collier d'une bielle verticale D maintenant le porte-outil, qui est lui-même équilibré par un contrepoids.

Digitized by Google

L'excentrique communique à la lame E un mouvement d'oscillation verticale par l'intermédiaire de la bielle D ; un levier manœuvré à la main permet le débrayage de l'outil.

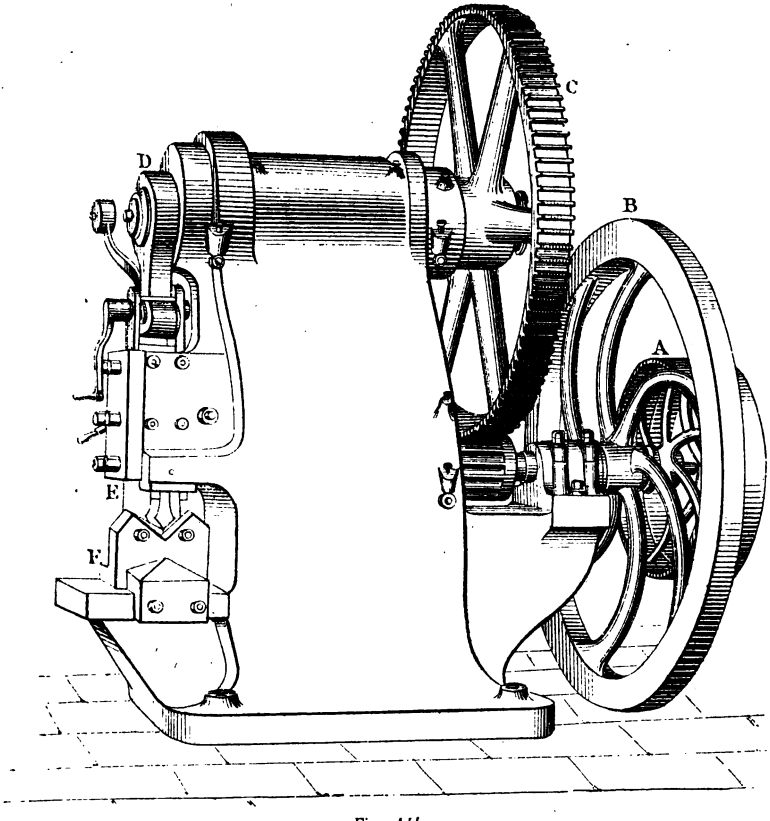


Fig. 144

2° *Cisailles à levier.* — Les cisailles à levier sont construites avec des lames parallèles ou perpendiculaires au levier. La commande de l'outil se fait par l'intermédiaire d'un galet qui est monté sur la grande branche du levier ; une came

Digitized by Google

disposée sur l'arbre moteur imprime à ce levier un mouvement de va-et-vient vertical. La petite branche du levier porte un cran qui presse sur le porte-lame, et produit la descente de l'outil. Pour débrayer, il suffit d'enlever à la main une cale placée entre le cran et le porte-lame ; le levier marche alors à vide (*fig.* 145).

Il peut arriver, pendant le cisaillage, que la tôle reste adhérente à la lame supérieure et remonte avec elle ; on est

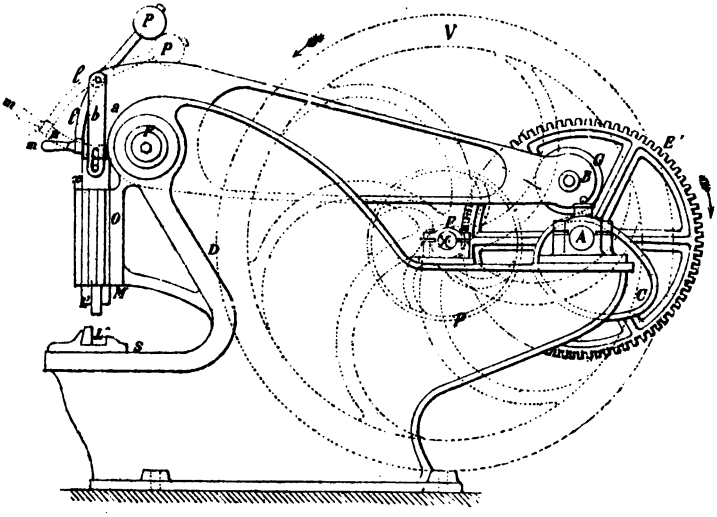


Fig. 145

obligé de disposer sur le bâti un butoir qu'on déplace suivant l'épaisseur de la tôle.

Avec les cisailles à levier, il peut arriver que la lame supérieure, serrée entre la tôle et la lame fixe, ne puisse pas remonter ; on remédie à cet inconvénient en n'abandonnant pas le levier ; on relie le galet supérieur G à un second G_1 à l'aide d'une bielle pendante B. Ce deuxième galet est en contact avec le dessous de la came C ; il rappelle le grand bras du levier quand son poids ne suffit pas à dégager la lame (*fig.* 146).

Digitized by Google

Les cisailles à levier travaillent plus régulièrement que les cisailles à excentriques et exigent moins de main-d'œuvre pour changer les lames selon le travail à exécuter ; par contre, les cisailles à excentriques ont l'avantage de pouvoir actionner avec le même arbre trois outils différents, en calant les manivelles à 60° ; on réalise ainsi une économie notable dans l'emplacement.

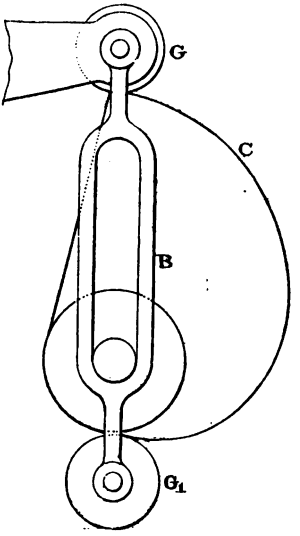


Fig. 146

153. Poinçonnage. — L'opération du poinçonnage a pour but de percer à l'emporte-pièce les trous tracés sur les tôles.

Les poinçonneuses sont analogues aux cisailles ; la lame dormante est remplacée par la *matrice*, parallélipipède d'acier trempé, percé d'un trou conique, et la lame mobile par un poinçon ou *emporte-pièce* légèrement conique (*fig.* 147) ; souvent, on strie la partie inférieure du poinçon suivant des rayons, et on ajoute un téton pour guider l'outil et éviter son glissement sur la tôle.

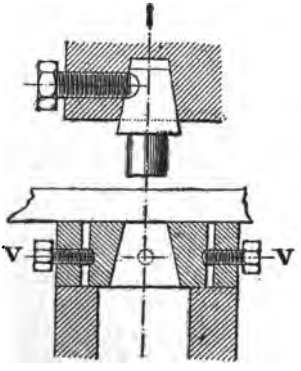


Fig. 147

Le diamètre de la matrice est toujours supérieur à celui du poinçon pour permettre le passage de la débouchure.

Le poinçon laisse dans la tôle un trou légèrement conique, ayant comme diamètre supérieur celui du poinçon, et comme diamètre inférieur celui

Digitized by Google

de la matrice. Il faut soigneusement régler les axes du poinçon et de la matrice pour éviter d'ébrécher les organes; ce réglage se fait à l'aide de vis V.

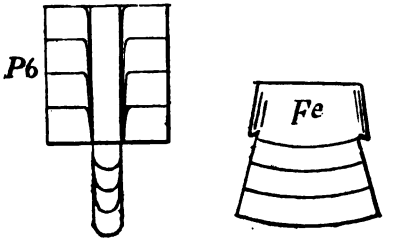


Fig. 148

L'opération du poinçonnage désagrège le métal dans le voisinage immédiat du trou, et diminue sensiblement sa résistance. Cette diminution peut atteindre 17 0/0. Ceci ne se produit pas lorsque l'on perce le métal au foret. Des expériences faites sur le plomb donnent des débouchures cylindriques régulières Pb (*fig.* 148). Pour le fer, on obtient des débouchures un peu différentes Fe (*fig.* 148).

Le poinçonnage est réservé pour les tôles de chaudières et les poutres de pont; on perce les longerons de locomotive, les brancards des wagons, au foret.

Il existe un grand nombre de poinçonneuses : sur les chantiers de construction on se sert généralement d'une poinçonneuse à levier à main portative. Les outils mécaniques à levier et à excentrique, fonctionnent exactement comme les cisailles; il est donc inutile de les décrire; on combine généralement sur le même bâti le poinçon et la cisaille. En dix heures de travail, on perce trente trous à la mèche, soixante-quinze avec une machine à percer, et neuf cents avec une poinçonneuse.

Les poinçons employés sont en acier; ils doivent être trempés durs sur toute leur longueur.

154. Rabotage et chanfreinage. — Le dressage mathématique de grandes surfaces planes ne peut guère s'effectuer à la lime et au burin, sans exiger un temps considérable; l'emploi des machines à raboter simplifie beaucoup ce travail. sera donné plus loin la description de ces machines et leur fonctionnement; les quelques indications qui suivent s'appliquent au chanfreinage qui est un mode de rabotage spécial.

Digitized by Google

La tôle à chanfreiner T est maintenue fixe sur le bâti de la machine (*fig.* 149). Le porte-outil P est mobile et porté par

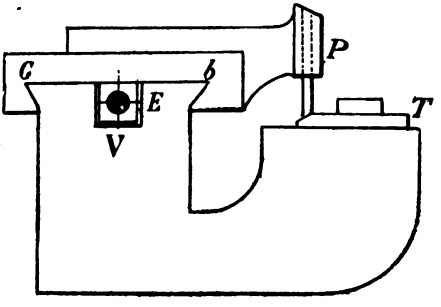


Fig. 149

un banc à glissières G; le mouvement de translation est obtenu par l'intermédiaire d'un écrou E, fixé au porte-outil, et d'une vis sans fin horizontale V.

155. Cintrage des tôles.— Le cintrage a pour but de donner aux tôles des formes cylindriques ou coniques, et, en général, de courber le fer d'une manière quelconque.

La machine à cintrer la plus simple consiste en un rouleau de $0^m,100$ à $0^m,150$ de diamètre fixé contre un mur à l'aide de supports. Deux leviers parallèles, mobiles autour de O, complètent l'installation. La tôle portée au rouge est placée entre le rouleau et le mur; en agissant à la main sur l'extrémité des leviers, on produit une déformation de la tôle qu'on amène à la forme voulue à l'aide de déplacements successifs (*fig.* 150).

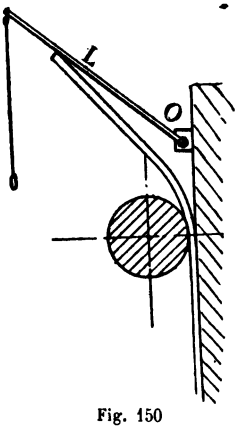


Fig. 150

Digitized by Google

Cette machine simple ne donne pas un cintrage régulier; pour obtenir un travail soigné, on a recours à la machine à cintrer à trois cylindres, dont voici le principe : deux cylindres d'assez grand diamètre A et B, fixés sur deux arbres parallèles, reçoivent leur mouvement de rotation par l'intermédiaire de pignons P; au dessus, un cylindre C, de moindre diamètre, est mobile; pour cintrer une tôle, il suffit d'abaisser progressivement le cylindre supérieur C (*fig.* 151); en faisant plusieurs passes, on complètera le cin-

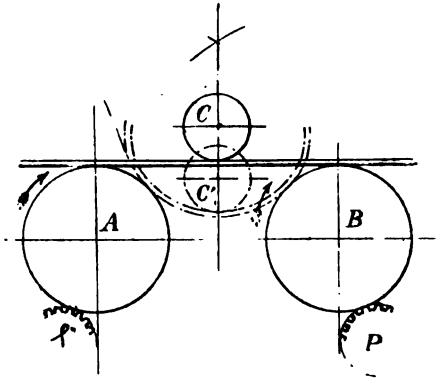


Fig. 151

trage. Le plus petit diamètre à obtenir est évidemment celui du cylindre C.

Pour cintrer conique, il suffit d'incliner, dans la descente, le cylindre C sur la verticale.

Au minimum, les diamètres des machines à cintrer sont :

Largeur de la table	Diamètres des cylindres inférieurs
2m,50	0m,30
3 00	0 36
4 00	0 43

Le cylindre mobile C n'a jamais moins de 0m,15 de diamètre.

Digitized by Google

Le cintrage des tôles doit se faire autant que possible dans le *bon sens*, c'est-à-dire qu'on doit faire passer la tôle sur les cylindres de la machine à cintrer, dans le même sens qu'elle a passé au laminoir. Lorsqu'on est obligé d'employer le cintrage dans le *mauvais sens*, on doit avoir soin de paqueter les fers en conséquence; sinon, l'on s'expose à des ruptures.

156. Emboutissage. — L'emboutissage a pour but de donner à une pièce métallique une forme nouvelle en déplaçant ses molécules, sans toutefois altérer considérablement sa résistance ; on donne plus particulièrement le nom d'emboutissage à l'opération qui consiste à donner à une plaque une forme bombée. L'étampage est un cas particulier de l'emboutissage.

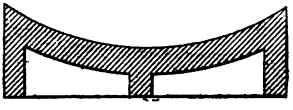


Fig. 152

Dans les petits ateliers, on emboutit les tôles au marteau; l'emboutissage d'un fond de chaudière se fait au rouge : on place la pièce sur la salière (*fig.* 152) (coupole creuse en fonte), et plusieurs hommes, armés de gros maillets en bois, à long manche, frappent suivant les indications du chef. On fait l'emboutissage en une chaude avec une double équipe de forgerons; on régularise la courbure à la chaude suivante, en frappant la tôle sur la convexité.

L'emboutissage à la presse hydraulique s'emploie pour les tôles fortes; la tôle, chauffée au rouge, est placée sur une matrice; à l'aide d'un poinçon, on la comprime vigoureusement; on modifie successivement la matrice et le poinçon pour arriver à la forme définitive qu'on désire obtenir. On emploie également le banc à emboutir : dans cet appareil le métal est poussé dans une filière au moyen d'un mandrin d'acier logé dans son intérieur. La rondelle de métal employée dans ce cas est d'abord préparée au balancier; puis, quand elle a acquis une certaine longueur, on la monte sur un mandrin cylindrique, et on la force par pression à passer à travers des filières de plus en plus petites; les tubes ainsi obtenus peuvent rester fermés à l'une de leurs extrémités.

Digitized by Google

L'acier exige certaines précautions pour supporter l'emboutissage, on doit le recuire après deux ou trois passages à la filière.

Les tubes minces d'étain pour couleurs à l'huile s'obtiennent par emboutissage au moyen d'un balancier qui comprime le métal.

L'emboutissage sur le tour s'opère de la manière suivante: la tôle à cintrer est maintenue fixe à l'une des extrémités de l'arbre du tour ; on oblige une molette à s'appuyer constamment sur la tôle, qui possède un mouvement de rotation continu.

On trouve dans le commerce des tôles embouties pour tabliers de ponts, planchers, etc.

Le Creusot fournit des tôles bombées à des épaisseurs variant de 5 à 15 millimètres et de toutes dimensions comprises entre $0^m,486$ et $1^m,392$ de largeur et 0,897 et 1,552 de longueur.

157. Montage. — Les pièces qui doivent constituer l'ouvrage définitif sont assemblées provisoirement, d'abord, à l'aide de boulons de montage, puis définitivement à l'aide de rivets ou de boulons.

Les boulons de montage sont d'un diamètre plus faible que celui des trous; ils sont accompagnés de plusieurs rondelles pour qu'un même boulon puisse assembler des tôles d'épaisseurs différentes ; on en met le nombre strictement suffisant, pour assurer l'immobilité des pièces pendant le rivetage.

De distance en distance, on dispose des broches pour *faire venir* les trous en face les uns des autres ; quand les broches ne sont pas suffisantes, on se sert d'alésoirs en acier trempé, que l'on fait légèrement tourner en les enfonçant à petits coups de marteau. L'alésage des trous a l'inconvénient d'augmenter leur diamètre et nécessite l'emploi de plus gros rivets.

Rivure. — La rivure sera l'objet d'une étude spéciale au chapitre v.

Digitized by Google

§ 3. — Chaudronnerie en cuivre. — Brasage. — Étirage Cintrage des tuyaux

La chaudronnerie en cuivre donne lieu aux mêmes opérations que pour le fer. Nous nous étendrons spécialement sur l'étude du *brasage* et de l'*étirage*, qui constituent deux modes particuliers de travail du cuivre.

158. On donne le nom de **brasage** à l'opération qui a pour objet de souder ensemble, et par leurs bords, deux pièces de fer, de cuivre ou de laiton, au moyen d'un alliage de cuivre et de zinc, additionné quelquefois d'un peu d'étain.

Les surfaces que l'on veut braser doivent être nettoyées avec soin à la lime et au burin. Soit, par exemple, à réunir un tuyau avec une bride (*fig.* 153) : on commence par passer la bride dans le tube qu'on évase ensuite légèrement à son extrémité ; on garnit la bride d'un bourrelet de terre réfractaire, pour pouvoir maintenir une bouillie faite de borax en poudre et d'eau, qui sert au décapage, et pour loger la soudure en grenaille. On porte au four à souder ; la brasure fond et passe dans le joint.

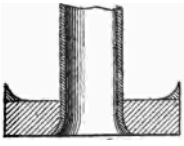


Fig. 153

Pour réunir deux tubes de cuivre perpendiculaires, on peut procéder de deux façons : on peut braser par dehors, le trou étant percé d'avance dans le tuyau qui reçoit la tubulure, ou par dedans, en faisant fondre à l'intérieur sur le tuyau non percé un glacis de soudure. On débouche ensuite le tube à l'aide d'un foret.

Le four à souder (*fig.* 154) se compose d'une caisse cylindrique séparée en deux parties par un fond en tôle ; la partie inférieure constitue le foyer, et contient une grille amovible qui reçoit le combustible ; un ventilateur envoie de l'air sous pression.

A la partie supérieure, se trouve une couronne en briques réfractaires, dont la partie centrale constitue un chalumeau vertical ; c'est là qu'on dispose les pièces à souder. On a éga-

Digitized by Google

lement une tubulure latérale qu'il peut être avantageux d'employer; on bouche alors le chalumeau vertical avec une brique.

159. Étirage. — L'étirage du cuivre a pour but de régulariser la forme extérieure des tuyaux brasés, de fabriquer des

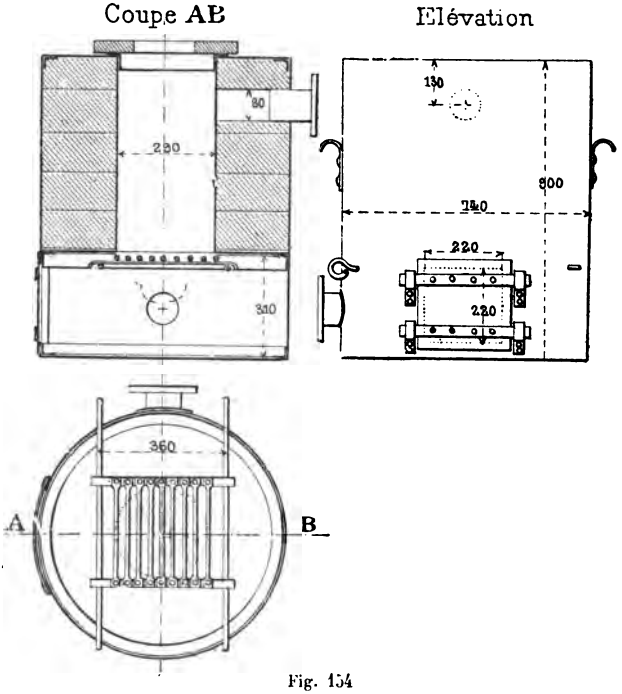


Fig. 154

tubes sans soudure et des fils de tréfilerie. On peut obtenir également par étirage des profils pleins à angles rentrants, qui ne pourraient pas se faire par laminage. Pour la fabrication des fils et la régularisation des tubes brasés, on emploie les mêmes procédés. On fait passer le métal à travers une

Digitized by Google

bague fixe en acier; on arrondit les bords de la bague pour éviter les coupures (*fig.* 155). Pour avoir une bonne déformation intérieure du tube, on place dedans soit un noyau formé de deux diamètres différents, soit une tige de dimension déterminée.

On emploie, pour diminuer la durée du travail, des bagues multiples réunies sur un même outil (*fig.* 156) qui prend alors la forme indiquée ci-dessous.

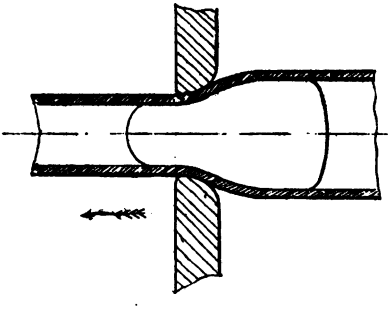


Fig. 155

Pour fabriquer des tubes sans soudure, on confectionne, soit par fusion, soit par emboutissage, un bloc cylindrique creux; à l'aide d'un jeu de filières à noyaux on arrive à produire le profil voulu.

Toutes ces opérations se font au *banc à tirer*. Cet appareil se compose d'un banc en bois solidement fixé au sol. A l'un des bouts du banc se trouve la filière ou la bague d'acier trempé, ajustée sur une pièce de fonte fixée au bâti. A l'autre bout du banc, un système d'engrenages faisant mouvoir une crémaillère. Le fil métallique est appointé à son extrémité et saisi par une pince qui termine la crémaillère.

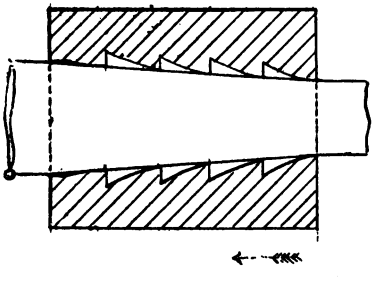


Fig. 156

Dans le banc à tirer à *bagues mobiles*, le tube reste fixe, et les bagues sont montées sur un cadre qui se déplace le long de deux vis parallèles, tournant dans le même sens.

La vitesse de l'étirage varie avec les métaux : pour le fer,

Digitized by Google

on opère avec une vitesse de $0^m,700$ par minute ; et, pour le cuivre, on atteint $2^m,300$.

160. Le **cintrage** des tuyaux de cuivre se fait à froid, après recuit préalable; pour des tuyaux de faible épaisseur, il faut remplir le tuyau pour éviter qu'il ne s'aplatisse : on emploie, pour cette opération, de la résine colophane, recuite pour en chasser l'eau. La résine durcit dans le tuyau par refroidissement ; lorsque le cintrage s'exécute, on plane au petit marteau, sur la résine, les plis produits par le refoulement du métal. On ne peut guère atteindre en une seule passe un cintre dont le rayon intérieur soit plus court que deux fois le diamètre du tuyau. (Laharpe.) Pour réaliser une plus forte courbure, il faut vider le tuyau, le recuire et le remplir à nouveau de résine ou de plomb.

Lorsque les coudes sont trop raides ou trop difficiles à réaliser par cintrage, on les construit en coquilles, c'est-à-dire en pièces amenées, au marteau, à leur cintrage définitif. Ces pièces sont ensuite ou brasées ou rivées l'une sur l'autre.

Les tuyaux sans soudure se cintrent généralement avec plus de facilité que les tuyaux brasés ; cela tient à la meilleure qualité du métal.

§ 4. — Ajustage. — Outils employés. — Leur mode d'action. Lois de déformation des métaux

161. L'**ajustage** se fait à la main et à la machine.

Dans l'ajustage à main, l'ouvrier place la pièce à ajuster sur le *marbre*, table de fonte extrêmement bien dressée à sa partie supérieure et rodée ensuite à l'émeri ; puis, à l'aide d'un *trusquin* (*fig.* 157) dont il promène la pointe sur la surface de la pièce, il enlève la céruse ou le rouge dont elle est recouverte. La pièce, une fois tracée, est portée entre les mâchoires d'un étau à main (*fig.* 158) et travaillée avec le burin, le bédane et la lime.

Le *burin* est un ciseau de petites dimensions (*fig.* 159) ; l'angle formé par les deux faces coupantes de l'outil varie de 50 à 60°.

Le *bédane* (*fig.* 160) a ses lignes de tranchant parallèles

Digitized by Google

aux faces de petite largeur ; il sert à préparer les saignées

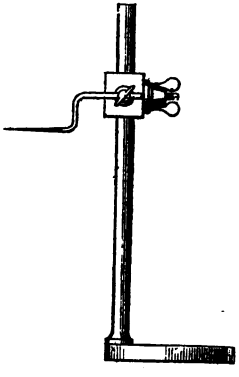


Fig. 157

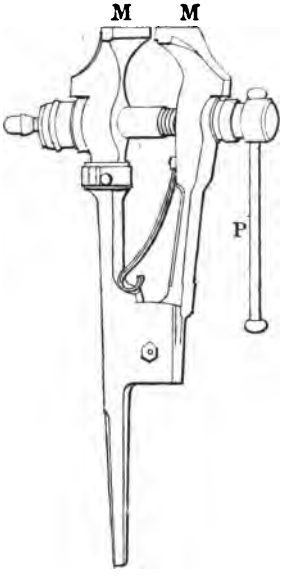


Fig. 158

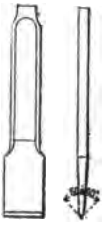


Fig. 159

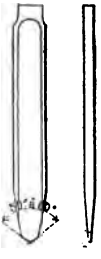


Fig. 160

dans le métal. Le reste de la matière est enlevé ensuite au burin.

Enfin, pour égaliser les surfaces, l'ajusteur se sert de limes diverses et de grattoirs, pièces d'acier recourbées à angle droit et terminées par un tranchant.

Pour vérifier les dimensions des pièces, on emploie le compas d'épaisseur ; le maître de danse (*fig.* 161), le pied à coulisse (*fig.* 162) ; les jauges servent à la vérification des pièces cylindriques pleines et creuses.

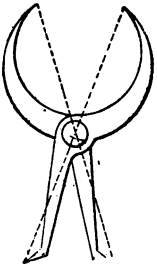


Fig. 161

L'ajusteur se sert également de règles d'acier, de fer, ou de fonte, d'équerres et de compas. Il emploie la mèche pour percer les trous ; pour les

Digitized by Google

mortaises ouvertes, on se sert du bédane et du burin; pour les mortaises fermées, on fait des trous à la mèche à des distances très rapprochées ; puis, on enlève l'excédent de métal au burin et à la lime.

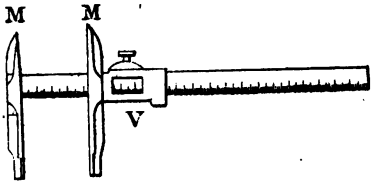


Fig. 162

Pour *roder* deux surfaces planes, on interpose entre les deux de l'émeri et de l'huile ; il arrive souvent que des particules d'émeri s'enchâssent sur le métal, et constituent des surfaces dures qui augmentent le frottement.

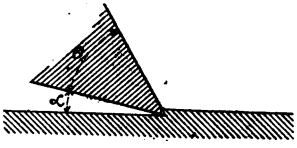


Fig. 163

Pour *polir* un métal, on se sert de moules en bois, enduits d'émeri ou de pierre ponce, de colcotar, de potée d'étain mélangés d'huile.

Le *marbre* peut servir comme outil vérificateur; en enduisant sa surface de rouge à polir, et en donnant un léger déplacement à la pièce à vérifier, les bosses se recouvrent de couleurs ; on les enlève au grattoir.

Dans les machines-outils, la lame travaillante agit toujours à la façon d'un coin. Si on désigne par α l'angle de la face inférieure de l'outil avec la surface du métal, par θ l'ouverture de l'outil, l'expérience indique que les meilleures conditions de travail sont réalisées avec les relations suivantes (*fig.* 163) :

Fer.....	$\theta = 50°$	$\alpha = 3°$
Fonte....	$\theta = 51°$	$\alpha = 4°$
Bronze...	$\theta = 66°$	$\alpha = 5°$

A partir de 60°, pour le fer et la fonte, l'outil broute et s'échauffe. Voici, énoncées, d'après M. Alf. Tresca, les différentes lois qui président au travail des outils :

Digitized by Google

Lois. — 1° Les angles tranchants des outils doivent être fixés à 51°, 51° et 66° pour le fer, la fonte et le bronze;

2° La face inférieure de l'outil doit faire, avec la surface supérieure du métal, dont le copeau est enlevé, un angle de 3° à 4°;

3° Ces angles, déterminés par l'expérience, correspondent au travail minimum, quelle que soit la vitesse de l'outil ou de la pièce ;

4° Les vitesses correspondant au travail dépensé minimum, varient de $0^m,040$ à $0^m,065$; en moyenne, $0^m,053$;

5° Les pièces ou les outils sont ordinairement animés d'une vitesse double et même au-delà du double de la vitesse moyenne, pour obtenir de la machine-outil un rendement plus considérable;

6° Le raccourcissement du copeau est d'autant plus grand que l'épaisseur de la passe est faible. Par suite, le travail moléculaire dépensé, est proportionnellement plus considérable pour de petites masses ;

7° Les outils de grandes dimensions, permettant d'enlever le métal sous une grande épaisseur, sont plus favorables au point de vue du travail dépensé ;

8° Le copeau se moule sur l'outil, après avoir augmenté d'épaisseur dans le même rapport que celui du raccourcissement observé ;

9° La largeur du copeau reste égale à la largeur de la portion d'outil en contact avec le métal à travailler.

§ 5. — Tournage du fer : Tour. — Banc. — Poupée fixe Chariot porte-outil. — Poupée mobile.

162. Le tournage des métaux peut s'effectuer à la main ou mécaniquement. Le premier mode est abandonné aujourd'hui; il ne permet d'obtenir que des surfaces de révolution très imparfaites, puisque l'outil tenu par l'ouvrier n'est jamais absolument fixe.

Le tournage mécanique se fait avec différents outils; l'outil droit (*fig.* 164) permet de tourner les surfaces cylindriques ; il a l'inconvénient de s'émousser très vite; il faut le forger et le retremper à nouveau, ce qui détériore sensible-

Digitized by Google

ment l'acier : on le remplace avec avantage par l'outil fraisé.

L'outil de côté permet d'obtenir le découpage d'une surface cylindrique plane (*fig.* 165). Pour avoir des arrondis, on emploie des outils cylindriques de différents modèles (*fig.* 166). D'une manière générale, un tour se compose de quatre parties : 1° Du *banc de tour*, B, plate-forme en fonte qui reçoit les différents accessoires de travail, et qui supporte les pièces à travailler (*fig.* 167) ;

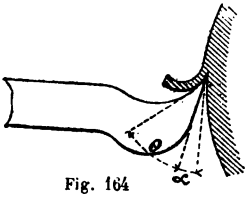


Fig. 164

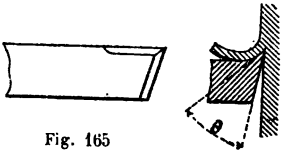


Fig. 165

2° D'une *poupée fixe* P, formée d'un support maintenant un arbre horizontal, qui porte un cône ou une poulie à gorges : l'arbre se termine par un plateau percé de trous à des distances variables du centre ; on dispose dans ces trous soit des griffes, soit des poupées à pompe, soit des tocs qui permettent de serrer la pièce à tourner et de la maintenir absolument fixe sur le plateau ;

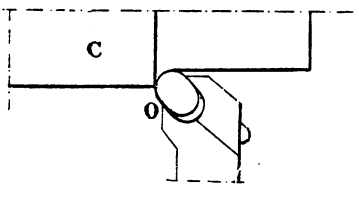


Fig. 166

3° D'une *poupée mobile* M, qui se déplace sur le banc de tour, soit à la main, soit à l'aide d'une crémaillère mue mécaniquement, lorsque la poupée est de grandes dimensions. Lorsque la poupée est en place, on la maintient fixe à l'aide de boulons, et on amène la *pointe* contre la pièce à tourner, à l'aide d'un volant qu'on manœuvre à la main ;

4° D'un *chariot porte-outil* C, qui peut prendre trois

Digitized by Google

mouvements différents : un mouvement de rotation qui permet le déplacement de la pointe de l'outil suivant une circonférence et deux mouvements de translation suivant des directions rectangulaires. L'outil est solidement fixé sur le chariot entre deux mâchoires dont l'écartement se règle à l'aide de boulons.

Pour classer les tours, on les divise par ***hauteurs de pointes :*** c'est la distance existant entre le centre du plateau et la partie supérieure du banc de tour. Cette hauteur représente le rayon maximum de la pièce à tourner.

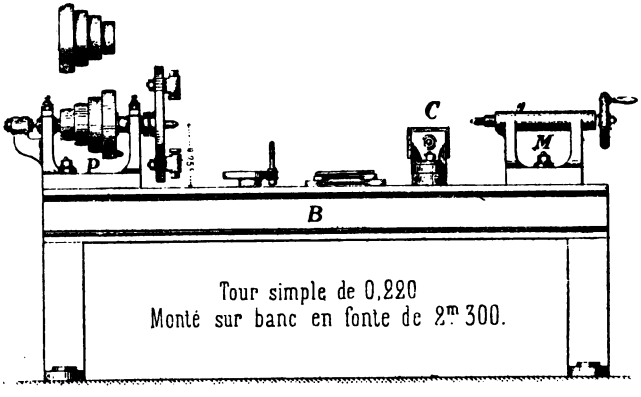


Fig. 167

Les tours à axe vertical sont très employés à l'Étranger, notamment en Angleterre et en Amérique.

Pour permettre le tournage de pièces de très grands diamètres, on emploie les tours à banc *coupé* ou *rompu;* le tournage des poulies s'effectue à l'aide de tours à *plateau* à banc coupé; le plateau est logé dans une fosse en maçonnerie pour diminuer la hauteur des pointes.

163. Tours parallèles. — Si l'on considère un outil attaquant le métal sur une certaine largeur (la pièce attaquée possédant un mouvement de rotation continu), et que l'on donne à l'outil un déplacement longitudinal très petit, mais

Digitized by Google

continu, voici ce que l'on observe : si le pas est égal à la largeur de l'outil, les différentes rainures produites se recouvriront, et on obtiendra une pièce cylindrique continue : c'est le *chariotage*. En exagérant le pas de l'hélice par rapport à la largeur de l'outil, on aura un sillon hélicoïdal d'amplitude variable : c'est le *filetage*.

Ces deux opérations s'effectuent à l'aide des tours *parallèles*.

Dans ces appareils, on met en mouvement un arbre parallèle à l'arbre du tour ; cet arbre est fileté et entouré d'un écrou monté sur le chariot porte-outil, qui reçoit ainsi un mouvement de translation continu.

La figure 168 donne le détail des appareils. La vis V reçoit

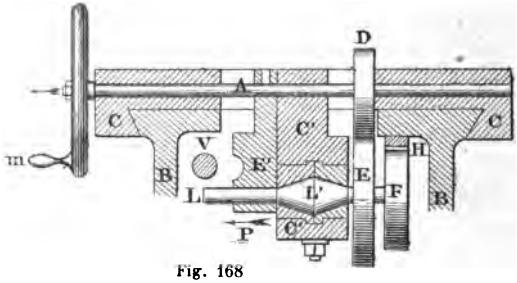


Fig. 168

son mouvement de l'arbre du tour par l'intermédiaire d'un train d'engrenages retardateurs qui ne sont pas représentés. C est la partie inférieure du chariot porte-outil qui se déplace le long du banc de tour B. Pour obtenir la translation de C, on déplace l'arbre A vers la gauche, à l'aide de la manivelle *m* ; la pièce E' est entraînée dans ce mouvement et vient entourer la vis V ; E' forme écrou et se développe sur la vis, en entraînant tout le système ; F, roue montée sur l'arbre M, se développe sur la crémaillère H fixée au banc.

Pour obtenir le retour rapide du chariot, on débraye la vis V ; en déplaçant l'arbre A vers la droite, la roue D vient alors engrener avec E ; en tournant à la main la manivelle *m*, on produit la rotation de l'arbre L et de l'engrenage F qui se

Digitized by Google

développe sur la crémaillère H et produit le retour du chariot porte-outil.

L'axe L porte un tourillon bi-conique pour éviter le déplacement latéral des pièces.

On conçoit qu'il existe d'autres mouvements, permettant le déplacement longitudinal du chariot; mais, les frottements augmentant d'une façon notable les pertes de travail et les réparations, les mouvements les moins compliqués sont forcément les meilleurs.

Il existe un grand nombre de tours spéciaux : tours pour boulons ; tours sphériques, tours doubles pour roues de wagons, tours pour emboutissage répondant chacun à un travail déterminé. Le cadre de l'ouvrage nous interdit de les décrire ici.

Voici, pour terminer, les vitesses moyennes par seconde à employer pour tourner une pièce : pour l'acier, 50 millimètres; pour la fonte tendre, 80 millimètres; pour le fer forgé, 110 millimètres; pour le laiton, l'or, le bronze, 150 millimètres; enfin, pour le cuivre, 500 millimètres. La vitesse du mouvement de déplacement transversal est de $0^{mm},5$ à $1^{mm},5$ par seconde.

L'effet utile des tours est en moyenne 0,675 du travail réel.

§ 6. — Rabotage

164. Machines à raboter en général. — Le rabotage a pour but d'enlever toutes les saillies qui se trouvent à la surface d'une pièce. Pratiqué à la main, avec la lime et le burin, le rabotage ne convient pas aux pièces de très grandes dimensions ; effectué à l'aide de machines spéciales, il permet d'obtenir une précision et un fini extraordinaires.

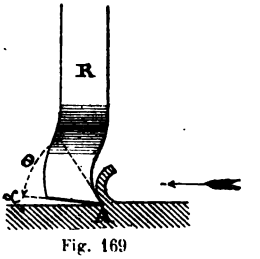


Fig. 169

Les outils employés pour le rabotage se présentent sous l'aspect d'une masse d'acier dont la partie inférieure forme tranchant (*fig.* 169). A est un peu effacé sur la face avant de l'outil,

Digitized by Google

pour éviter que l'outil ne pénètre trop avant dans la matière, s'il venait à fléchir.

Le rabotage peut se faire avec des outils cylindriques qui laissent à la surface de la pièce une série d'empreintes circulaires, se recouvrant après les passes successives de l'outil.

En général, les outils présentent une section trapézoïdale ;

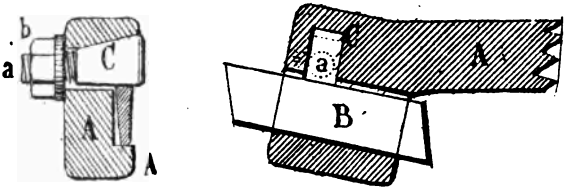


Fig. 170

on les fixe dans des porte-outils de la manière suivante : A porte une mortaise inclinée dans laquelle on loge l'outil B; la clavette C, rappelée par un boulon *a* et un écrou *b*, presse suffisamment sur l'outil pour le maintenir fixe (*fig.* 170).

Les machines à raboter sont de deux genres différents : 1° les machines à outil fixe ; 2° les machines à outil mobile.

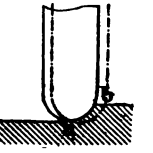


Fig. 171

165. 1° Machines à raboter à outil fixe. — On les emploie quand la pièce à raboter est de poids moyen et de grande longueur.

On déplace la pièce vers l'outil qui trace un premier sillon rectiligne ; un système de roues dentées avec crémaillère produit le mouvement de retour rapide de la pièce; pendant ce retour, l'outil s'est avancé transversalement d'une quantité un peu moindre que son épaisseur, il se trouve en place, pour tracer sur la pièce un deuxième sillon parallèle au premier, et ainsi de suite.

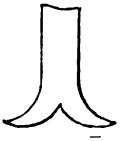


Fig. 172

On a cherché à employer utilement les deux courses de la pièce ; trois dispositions ont été étudiées : 1° la machine est à outil tournant légèrement

Digitized by Google

courbe à sa partie inférieure (*fig.* 171) ; l'outil décrit un angle de 180° et s'avance doucement ; 2° le cadre porte-outil est disposé pour recevoir deux outils dont les parties travaillantes sont dirigées en sens inverse ; 3° on emploie un outil double (*fig.* 172). Ces trois dispositions ont le même inconvénient : les faces travaillantes n'étant pas les même dans les deux courses, il s'en suit que le métal est refoulé devant l'outil dans des conditions différentes ; le rabotage obtenu de cette façon est très irrégulier; on préfère le travail produit par les machines à outil mobile.

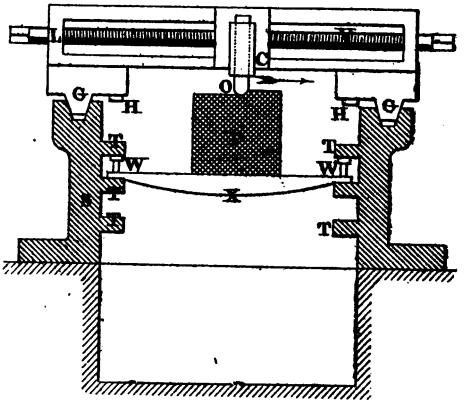


Fig. 173

166. 2° Machines à raboter à outil mobile. — Étau limeur. — Quand les pièces à raboter ont des dimensions considérables et sont, par suite, d'un très grand poids, on emploie les machines à outil mobile.

La *figure* 173 donne le croquis d'une de ces machines : S est le bâti de la machine solidement fixé au sol au-dessus d'une fosse en maçonnerie ; des échelons T permettent de placer, à différentes hauteurs, la pièce à travailler P, qui repose sur des supports X, placés à des distances convenables sur toute la longueur du bâti.

Des vérins à vis W maintiennent les supports X sur le bâti.

Digitized by Google

Le chariot porte-outil L se termine par des glissières G qui se déplacent dans des rainures de même forme, pratiquées à la partie supérieure du bâti ; il est animé d'un mouvement de translation perpendiculaire au plan de la figure le long de la crémaillère H, ou d'une chaîne de galle, plus habituellement. L'outil O se déplace en laissant un sillon rectiligne sur la surface de P. On agit soit à la main, soit automati-

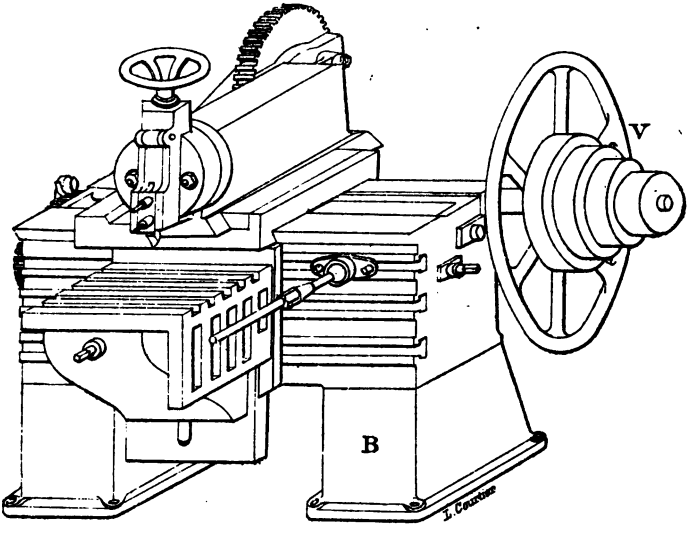


Fig. 174

quement sur la vis V pour obliger C à se déplacer latéralement ; on obtient un deuxième sillon parallèle au premier.

Il existe des machines où tous les différents mouvements de la pièce et de l'outil s'effectuent automatiquement ; c'est ce qui a lieu dans l'*étau limeur*, qui est employé pour le rabotage des pièces de grande longueur, mais de faible largeur.

En principe, un étau limeur se compose de deux parties principales ; un support fixe analogue à un banc de tour et

Digitized by Google

soutenant des plateaux porte-pièces; et un porte-outil qui se meut sur le support fixe, et reçoit automatiquement des déplacements dans deux directions rectangulaires : un premier mouvement de grande amplitude dans le sens de la largeur de la pièce à raboter, et un deuxième mouvement de faible amplitude qui permet de tracer des sillons parallèles sur la pièce. De plus, le porte-outil est disposé de manière à travailler verticalement et peut produire des rainures droites ou inclinées à la surface des pièces en travail (*fig.* 174).

Pour fixer une pièce sur la machine à raboter on se sert, lorsque la pièce est de faibles dimensions, de cadres en fer munis de vis de pression, qu'il suffit de maintenir sur le bâti. Quand la pièce est très lourde, on la place sur cales ; on fait passer dans des rainures des pièces A (*fig.* 175) ; une vis V permet de maintenir la pièce P sur le plateau. D'autres fois, on dispose entre P et A un boulon dont l'écrou est à la partie supérieure ; une large rondelle appuie à la fois sur les deux pièces, par suite du serrage de l'écrou.

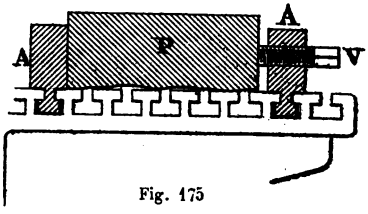


Fig. 175

Les vitesses de travail sont les mêmes que pour le tournage.

La largeur du copeau pour les petites machines est de $4^{mm},5$, pour les fortes machines de $6^{mm},4$ à 10 millimètres. L'effet utile moyen n'est pas très considérable ; il n'est que des 558 millièmes du travail réel.

§ 7. — Perçage à la main. — Perçage mécanique

167. Le perçage à la main se fait avec des outils différents, suivant le diamètre et la profondeur des trous à obtenir. On emploie l'*archet* (*fig.* 176) pour des trous ne dépassant pas 8 millimètres de diamètre. La bobine de l'archet est entourée d'une corde dont le mouvement de translation se transforme en un mouvement de rotation du foret. Pour obtenir la des-

Digitized by Google

cente de l'outil, on emploie la *conscience*, qu'on applique à la partie supérieure de l'archet.

On emploie également le *vilebrequin*, que nous avons déjà décrit, mais dont les installations diffèrent suivant le cas. Le *cliquet* (*fig.* 177) permet d'obtenir des trous très rapprochés des parties pleines qui gêneraient le mouvement du vilebrequin. Il se compose d'un axe à l'extrémité duquel on vient fixer le foret ; une roue à rochet, manœuvrée à l'aide d'un levier, produit la rotation de l'outil ; on opère par mouvements alternatifs de faible amplitude.

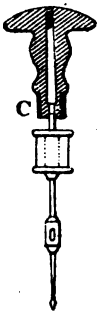


Fig. 176

L'emploi des machines donne un meilleur travail. Les outils employés pour le perçage mécanique sont des mèches et des forets. La mèche triangulaire est représentée sur la *figure* 178. Le tranchant de l'outil est formé de portions courbes ; on l'obtient à la meule en enlevant la matière sur l'une des faces et en arrondissant l'autre ; la section *ab* est parallélogrammique; les deux faces MN, RS font des angles de 4° avec MR et NS.

L'angle formé en β est égal à 35° ; il correspond au travail maximum de l'outil.

Pour guider l'outil, on est obligé d'employer la mèche à pointes de diamant, ou la mèche cylindrique ; dans cette dernière (*fig.* 179) les faces coupantes de l'outil sont horizontales.

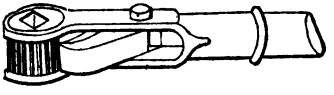


Fig. 177

La partie A doit être percée à l'avance dans la pièce. On se sert également de la mèche hélicoïdale.

Lorsque les trous dépassent 7 à 8 centimètres de diamètre, on emploie les lames à percer, fixées sur un arbre à l'aide d'une clavette. Pour percer les tôles de chaudières, on donne une forme évidée à la lame (*fig.* 180). On économise ainsi le travail, et on obtient une rondelle qu'on peut utiliser.

Les machines à percer se composent, en général, d'un bâti en fonte solidement fixé au sol et supportant l'outil dont

Digitized by Google

le mouvement de rotation est communiqué à l'aide de deux engrenages coniques recevant leur mouvement de la transmission générale de l'atelier, au moyen d'une courroie enroulée sur l'une des poulies du cône A (*fig.* 181).

L'arbre du porte-outil présente une rainure longitudinale, qui permet à la mèche de monter et de descendre sans cesser de tourner. L'avancement de la mèche dans le métal se règle à la main. L'ouvrier qui exécute le travail tient constamment sa main gauche sur la jante du volant D qu'il fait légèrement tourner, lorsque la résistance qu'il éprouve n'est pas trop grande; il arrose de temps en temps le trou avec de l'huile ou de l'eau de savon. Quand le travail est achevé, on remonte la mèche à l'aide du volant V; on déplace la tôle à percer, après avoir débrayé la machine.

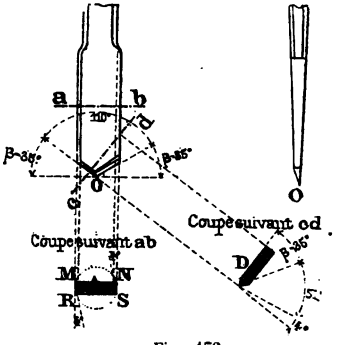


Fig. 178

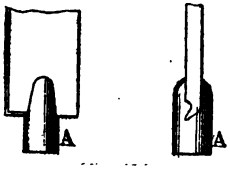


Fig. 179

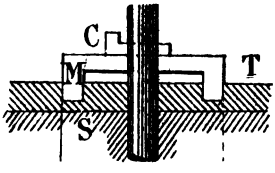


Fig. 180

Aujourd'hui, presque toutes les machines sont disposées pour permettre l'avancement automatique de l'outil; il est facile d'imaginer un arbre vertical qui transmet le mouvement qu'il reçoit à une roue à rochet montée sur l'axe vertical de la mèche; un cliquet donne un mouvement intermittent d'avancement à un téton qui se meut dans une rai-

Digitized by Google

nure hélicoïdale pratiquée à la partie supérieure de C.

L'effet utile moyen des machines à percer est de 0,832 du travail réel.

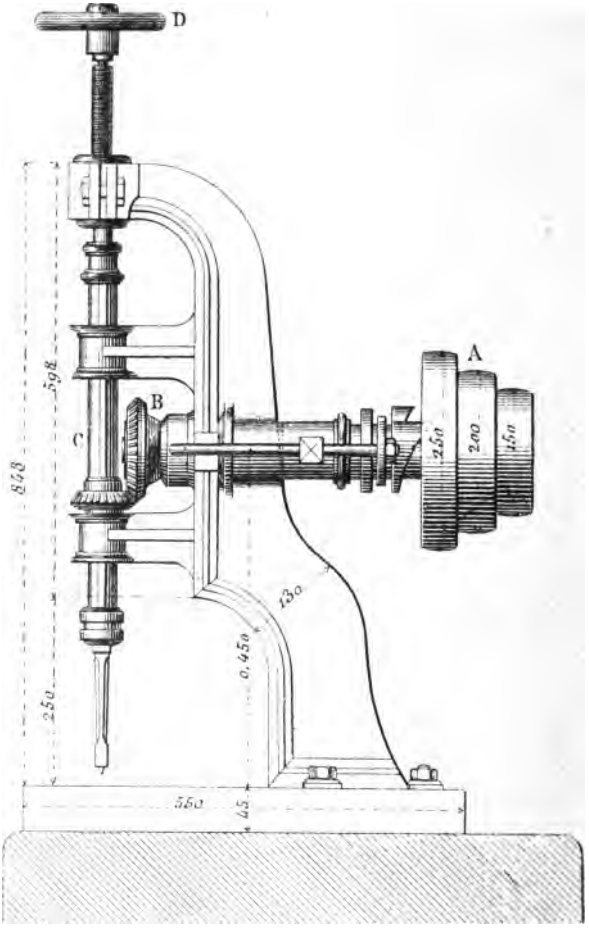


Fig. 181

168. Machine à percer radiale. — Cette machine est à

Digitized by Google

outil mobile ; elle est employée pour le perçage des pièces de grandes dimensions. La mèche est placée à l'extrémité d'un bras horizontal mobile autour du support vertical de la machine, et pouvant décrire un angle de 180°. D'autre part, le porte-outil est mobile le long du bras horizontal, grâce à une vis manœuvrée à la main par l'intermédiaire d'un volant.

On peut arriver au même résultat à l'aide de perceuses portatives. La vitesse de l'outil est de 6 mètres par minute pour le fer et la fonte ; de 9 mètres, pour le bronze ; et de $4^{m},80$ pour l'acier. La descente de l'outil ne doit pas dépasser 1/10 de millimètre par tour. Pour la fonte et le bronze, le perçage se fait à sec ; pour le fer, l'acier et le cuivre, on ajoute de l'huile ou de l'eau de savon. L'effet utile de ces machines est de 0,593 du travail réel.

§ 8. — Fraisage

169. Les fraises sont des outils d'acier, dans lesquels on a préparé des rainures sur les faces latérales et cylindriques

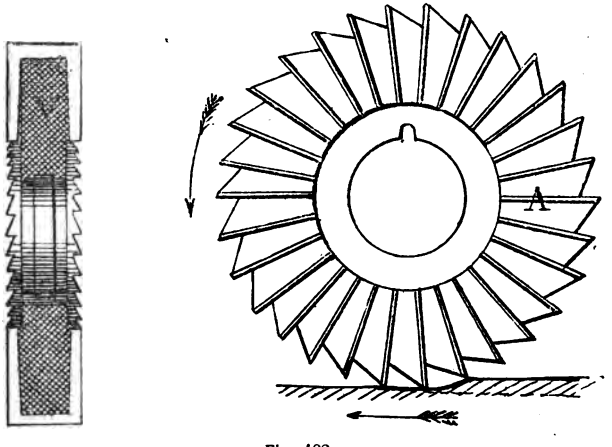


Fig. 182

(*fig.* 182) ; on a donc des outils coupant sur trois faces ; les

Digitized by Google

fraises présentent différentes formes (*fig.* 183); les rainures obtenues ont la section droite de l'outil; c'est avec des fraises qu'on taille les roues d'engrenage.

On peut remplacer le rabotage par le fraisage; la fraise étant placée sur un arbre vertical, on lui donne un mouvement rapide de rotation; la pièce à raboter se meut également. La vitesse des fraises peut atteindre 30 mètres par minute; ces outils ne sont en contact avec le métal que pendant une fraction très faible du tour de l'outil. Cette vitesse n'est pas possible avec un outil ordinaire qui s'échaufferait considérablement.

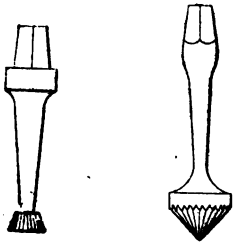


Fig. 183

Les fraises ont des dimensions variant de 10 à 15 millimètres de diamètre au minimum, 20 millimètres au plus; au-delà de cette dimension, on constitue la fraise d'un disque en fer ou en acier doux où l'on implante des outils d'acier constituant la fraise. La plus grande difficulté qu'offre l'emploi de cet outil, c'est sa fabrication et son affûtage. La parfaite rectitude de la fraise est indispensable à son bon fonctionnement; on doit, après la trempe, rectifier à la meule la partie extérieure de la denture, en même temps qu'on lui donne le profil voulu.

« Les machines à fraiser remplacent celles à raboter, à chantourner, à mortaiser et à percer; elles livrent les pièces tellement finies que l'ajusteur n'a, le plus souvent, plus rien à y faire. Avec ces machines on fraise, en dedans et en dehors, des surfaces circulaires ou irrégulières, gagnant plus de la moitié du temps nécessaire au tour et aux machines à raboter ou à mortaiser. La fraise permet aussi de dresser à la fois deux faces formant un angle entre elles, ou bien les trois côtés d'une rainure.

« Les vides à pratiquer dans l'intérieur des tôles ou des fers plats ne s'obtiennent plus par le perçage ou le poinçonnage d'une série de petits trous très rapprochés, et par un ajustage final au bédane et à la lime; il suffit de percer un seul trou pour recevoir la fraise qui fait exactement le long

Digitized by Google

du contour pointé une entaille dégageant le morceau central.

« Les mortaises et les rainures se font très facilement par cet outil universel, dont les applications sont innombrables.

« Les copeaux doivent être enlevés au moyen d'un jet d'eau de savon venant d'un réservoir placé à 6 ou 7 mètres de hauteur, dans lequel l'eau peut être remontée. » (MATHIAS, ingénieur en chef de la Compagnie du Nord.)

Il est impossible d'entrer ici dans la description complète des machines à fraiser ; on peut les classer en trois groupes principaux : 1° les machines à fraiser à outil fixe ; 2° les machines à fraiser à outil mobile ; 3° les machines à fraiser suivant un calibre donné.

Les fraises se taillent à l'aide de machines dont le principe est le suivant : qu'on imagine un parallélogramme articulé, dont l'un des côtés, prolongé, porte l'outil servant à tailler la fraise, et dont un autre côté, muni d'une touche, s'appuie constamment sur un calibre métallique ayant la forme de la fraise à produire ; en agissant sur la touche pour lui faire décrire successivement tous les points du contour du calibre, on obtiendra un déplacement plus ou moins réduit de l'outil de taillage.

C'est grâce aux perfectionnements apportés dans la construction des machines à tailler les fraises, que cet outil est devenu vraiment pratique.

§ 9. — Mortaisage

170. Le mortaisage est un rabotage vertical ; il consiste à creuser dans une pièce métallique une ouverture de section et de profondeur déterminées, au moyen d'un ciseau animé d'un mouvement de translation. Les outils de mortaisage sont forgés ou fraisés.

Les outils forgés présentent la forme indiquée sur la *figure* 184. Ce sont des pièces prismatiques, terminées par un tranchant très ouvert ; ici l'angle $\theta = 60°$, pour le fer et la fonte, et 76° pour le bronze.

Les outils fraisés (*fig.* 185) sont formés d'une pièce évidée, formant avec la face de la pièce à mortaiser les angles α et θ.

Digitized by Google

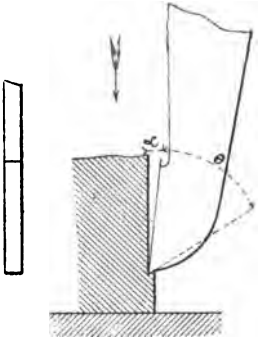


Fig. 184

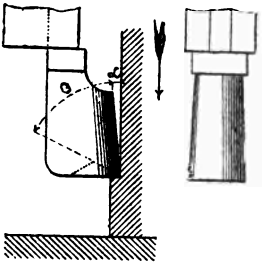


Fig. 185

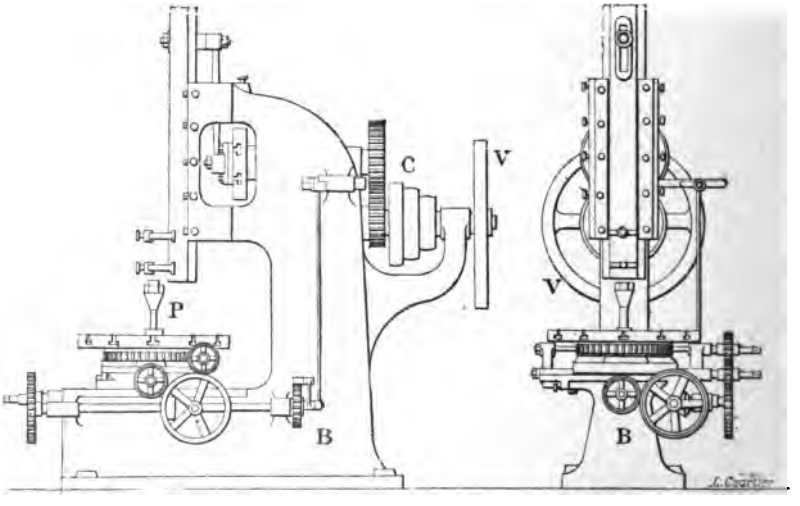


Fig. 186

Digitized by Google

On remarquera que les outils de mortaisage sont peu larges, et qu'ils sont perpendiculaires au mouvement.

Les machines à mortaiser ont des mouvements analogues à ceux des machines à raboter ; l'outil se meut verticalement ; on règle sa course pour qu'il atteigne dans sa descente tous les points de la pièce ; pendant la montée de l'outil, la pièce se déplace latéralement et reste fixe pendant la descente ; elle est portée sur un plateau et peut prendre un mouvement de rotation autour de son axe (*fig.* 186).

Il existe des machines à mortaiser qui permettent de faire des mortaises inclinées sur la verticale ; ce sont les machines à tête *tournante ;* il existe également des machines à mortaiser à outil tournant, avec lesquelles on obtient des mortaises fermées, terminées par deux surfaces cylindriques.

§ 10. — Machines-outils spéciales

171. Machine à aléser les cylindres. — On dispose à l'intérieur du cylindre un porte-outil formé d'un disque ayant un diamètre un peu plus petit que le diamètre de la pièce ; on

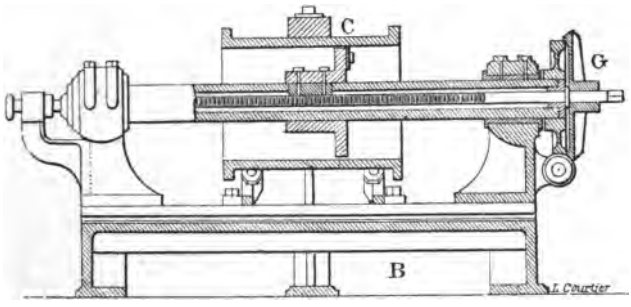


Fig. 187

l'arme de lames coupantes qui entament la surface du cylindre, et on anime cet outil de deux mouvements différents : une rotation et une translation lente ; on obtiendra ainsi une trace hélicoïdale d'un pas très petit ; ces traces se recouvriront

Digitized by Google

successivement et produiront une surface parfaitement cylindrique (*fig.* 187).

Pour le dégrossissage, l'avancement est de 1/4 de millimètre par tour ; il n'est que 1/10 de millimètre pour l'alésage définitif.

Les outils sont placés sur le plateau de manière que leurs extrémités soient à des distances variables du centre ; chaque outil enlève un peu de matière ; on évite ainsi les ruptures.

Il est indispensable que l'appareil marche d'une manière *continue*. Pour des cylindres de grand diamètre, on est obligé d'avoir recours à des machines verticales, afin d'éviter les déformations produites par le mode de fixation et par les vibrations.

172. Taraudage. — Le tour parallèle, ainsi qu'il a été dit précédemment, peut servir au filetage et au taraudage ; mais, en général, cet appareil est réservé au filetage de vis de grandes dimensions.

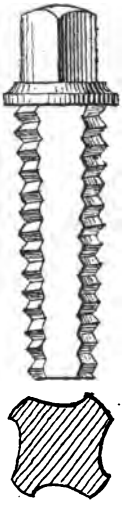


Fig. 188

Le taraudage ordinaire s'effectue avec deux outils : le *taraud* et la *filière*. Les tarauds (*fig.* 188) sont cylindriques ou coniques. Ce sont des pièces d'acier à tête carrée, manœuvrées à l'aide d'un tourne-à-gauche ; la pièce à tarauder est maintenue fixe entre deux mâchoires ; on introduit le taraud à la partie supérieure de la pièce, et on le fait tourner à l'intérieur de la partie cylindrique ; on finit toujours avec un taraud cylindrique pour régulariser les filets.

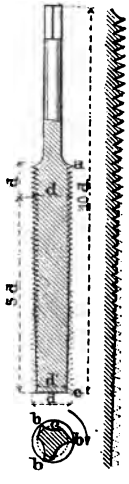


Fig. 189

L'appareil indiqué sur la *figure* 189 représente un *taraud aléseur ;* cet outil est d'abord taraudé cylindriquement ; puis,

Digitized by Google

on enlève au tour une certaine partie des filets ; pour préparer les parties coupantes de l'outil, on enlève des segments d'acier, de manière à obtenir finalement une section représentée par la coupe. Cet appareil a l'avantage de ne pas produire un refoulement brusque de la matière et d'éviter le gonflement

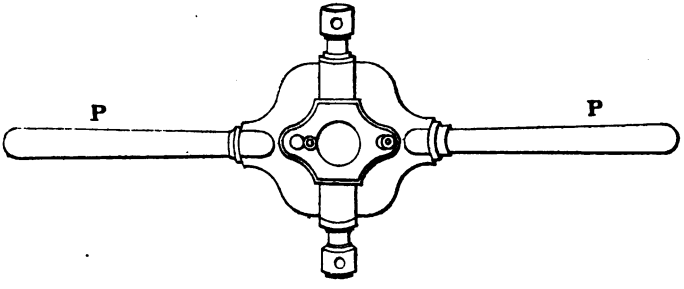


Fig. 190

du métal qui nuit à la netteté du filet produit ; ces inconvénients se présentent dans l'emploi des filets cylindriques.

La composition habituelle des filières mécaniques comprend, en général, par chaque sorte de tarauds de même dia-

Fig. 191

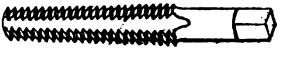


Fig. 193

Fig. 192

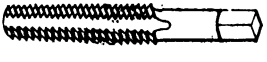


Fig. 194

mètre allant sur l'un des coussinets que comporte la filière (*fig.* 190), quatre tarauds ainsi classés :

N° 1 : Taraud conique qui ébauche le taraudage (*fig.* 191);
N° 2 : — demi-conique qui le forme (*fig.* 192);
N° 3 : — cylindrique qui complète et achève le taraudage (*fig.* 193);

Digitized by Google

N° 4 : **Taraud** mère, servant à créer, comme son nom l'indique, des tarauds de même diamètre et de même pas. Il doit être particulièrement exact et soigné, présenter des rainures hélicoïdales peu inclinées. Ces rainures doivent être aussi étroites que possible, ne présenter aucune bavure ou autre défaut, qui se reproduirait immédiatement dans les coussinets. Le taraud mère se fait en acier fondu de première qualité, recuit avant d'être tourné (*fig.* 194).

Les *filières* sont également en acier coulé, ou, tout au moins, en fer forgé, cémenté et trempé; elles sont à la main ou à la machine, à un, deux ou trois coussinets. L'emploi de

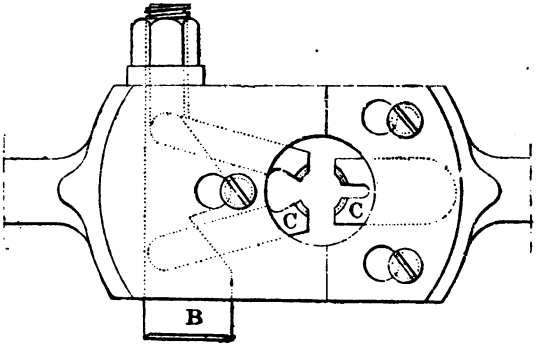


Fig. 195

filières à trois coussinets (*fig.* 195) a l'avantage de donner des pièces filetées à des diamètres très différents. Elles se composent d'un cadre où sont montés trois coussinets d'acier C servant au découpage; l'un des trois est fixe, les deux autres sont mobiles et peuvent recevoir un mouvement d'avancement identique par l'intermédiaire d'une clavette B. Ici, l'outil n'est en contact que sur une petite partie de sa longueur, l'angle de coupe est petit, et l'arrachage plus net.

Pour fileter des boulons de dimensions moyennes on emploie l'*écrou filière* (*fig.* 196) d'un seul morceau. L'enlèvement de la matière se produit au fur et à mesure de l'avancement, grâce à un filetage conique de l'outil. Le déga-

Digitized by Google

gement s'opère par les saignées ménagées dans l'écrou à cet effet.

Pour un travail courant, on emploie des machines à tarauder dont le principe est le suivant : un plateau, portant à son

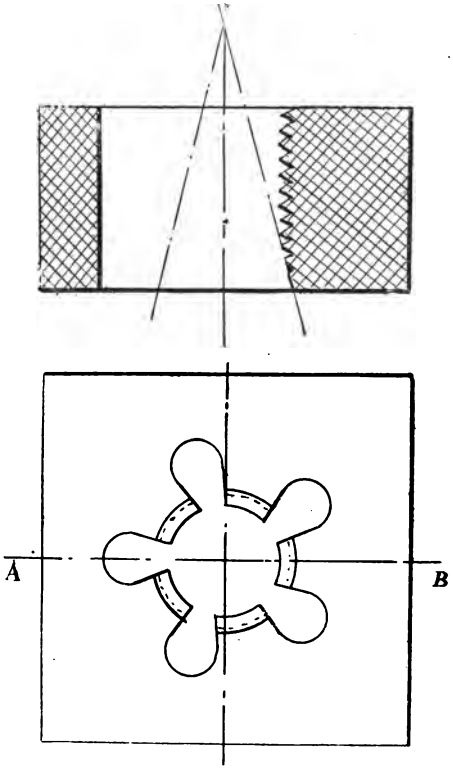


Fig. 196

centre le taraud, est animé d'un mouvement de rotation uniforme. En face de l'outil, se trouve une traverse mobile appuyée le long de guides parallèles et sur laquelle on vient fixer la pièce à tarauder. On agit sur la traverse pour approcher la

Digitized by Google

pièce de l'outil. Le travail fini, un débrayage permet d'obtenir à grande vitesse le retour de l'outil; en remplaçant le taraud par une filière, on peut obtenir le filetage de pièces de grande longueur.

La vitesse normale de l'outil ne devrait pas dépasser $0^m,040$ à $0^m,050$ par seconde à la circonférence extérieure du filet, pour demeurer dans les meilleures conditions d'entretien et de fonctionnement.

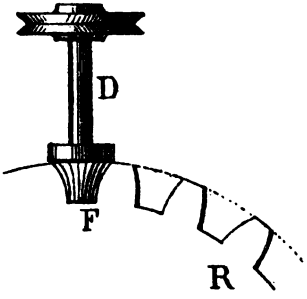


Fig. 197

173. La taille des dents d'engrenage se fait avec des machines spéciales permettant d'obtenir des engrenages droits ou coniques. L'outil de travail est une fraise montée sur un arbre vertical.

On peut tailler les dents d'engrenage sur un tour. Il suffit de monter la roue à denter R sur l'axe du tour; à l'aide d'une fraise F présentant, comme section droite, le même profil que le creux à produire entre deux dents, on obtient la taille de la roue. La fraise montée sur l'axe D possède deux mouvements : une rotation et une translation parallèlement à l'axe du tour (*fig.* 197).

Digitized by Google

CHAPITRE IV

ASSEMBLAGES DIVERS

---

§ 1. — Assemblages à boulons — Composition d'un boulon. Taraudages. — Règles de Whitworth et de Sellers. — Boulons divers. — Serrage. — Vis à bois et vis à fer.

174. Un assemblage consiste dans la liaison de deux ou plusieurs pièces par des moyens autres que les soudures.

L'assemblage peut être démontable (boulons, clavettes, etc.); ou bien fixe et indéformable (rivets).

Les **boulons** se composent de trois parties : le *corps*, la *tête* et la *partie filetée*. Graphiquement on représente le diamètre par celui de son *corps*.

Le corps du boulon est un cylindre dont le diamètre varie suivant l'usage et qui est déterminé par les formules suivantes :

$$d = 1{,}41\sqrt{\frac{F}{R}}, \text{ pour } d < 0^{m},015\,;$$

et :

$$d = 1{,}34\sqrt{\frac{F}{R}}, \text{ pour } d > 0^{m},015.$$

F est l'effort d'extension auquel le boulon doit résister; R, la charge de sécurité admise pour le fer et variable entre 3 et

Digitized by Google

8 kilogrammes par millimètre carré de section, selon la qualité du fer employé et selon que le filetage a été fait à la filière, qui brise les fibres de la surface du noyau, ou au tour, qui déforme moins les fibres, mais qui est peu employé à cause de son prix élevé. On se sert cependant du tour pour les boulons des machines qui demandent des pièces finies.

175. Tête. — La tête est fabriquée par des moyens différents : par enroulement ou par refoulement. Le premier procédé consiste à forger une rondelle qu'on soude par martelage autour de la tige.

Le refoulement s'obtient en chauffant la tige du boulon qu'on dépose ensuite dans la quenouillère ; on refoule la matière au marteau, et on régularise la surface en forçant la tête ainsi formée à s'appuyer sur la surface supérieure de la quenouillère.

Il est rare qu'on opère de la manière suivante qui donne de très mauvais résultats (*fig.* 198) : la tête est formée en A et présente un évidement cylindrique destiné à recevoir le corps du boulon; celui-ci est chauffé au rouge et soudé.

Fig. 198

Le tableau ci-après donne les dimensions pratiques des boulons du commerce fabriqués avec du fer, résistant à un effort d'extension de 38 kilogrammes à la rupture.

Ces dimensions ne sont pas absolues.

Pour empêcher les boulons de tourner dans leur logement, on fait des boulons à tête sphérique et collet carré ou à tête sphérique et ergot. Lorsqu'on est gêné par la hauteur, on emploie des têtes fraisées ou en goutte de suif; pour augmenter la surface de la tête reposant sur le bois, on exagère son diamètre.

176. Partie filetée. — La partie filetée se construit d'après des règles différentes, selon les constructeurs. Les filets *carrés* ne sont généralement pas adoptés pour des diamètres plus petits que 15 millimètres (*fig.* 211).

Les règles qui président aux dimensions adoptées pour le tracé des filets triangulaires sont les suivantes :

Digitized by Google

Diamètre de la tige du Boulon.		8	9	10	12	15	18	20	22	23	25	28	30	35	40
Têtes à 6 Pans Fig. 199	Largeur a	14	16	17,5	21	26	31	35	38	40	42	44,5	52	60,5	69
	Hauteur b	6	7	8	10	12	14	16	17	18	20	22	24	28	32
Têtes carrées encastrées dans le fer Fig. 200	Largeur a	5	6	6	7	9	11	12	13	14	15	17	18	21	24
	Hauteur b	14	15	16	20	24	28	32	34	36	40	44	48	56	64
Têtes carrées reposant sur le fer Fig. 201	Largeur a	14	15	16	20	24	28	32	34	36	40	44	48	56	64
	Hauteur b	5	6	6	7	9	11	12	13	14	15	16	17	20	23
	Hauteur c	6	7	7	8	10	12	14	15	16	17	18	19	22	26
Têtes cylindriques Fig. 202.	Diamètre a	14	15	16	20	24	28	32	34	36	40	44	48	58	64
	Hauteur b	5	6	6	7	9	11	12	13	14	15	17	18	21	24
	Hauteur c	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	5	5	6
Têtes demi-sphériques Fig. 203	Diamètre a	14	15	16	20	24	28	32	34	36	40	44	48	58	64
	Hauteur b	7	7,5	8	10	12	14	16	17	18	20	22	24	28	32
Têtes goutte-de-suif (sur fer) Fig. 204	Diamètre a	14	15	16	20	24	28	32	34	36	40	44	48	58	64
	Hauteur b	5	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	17	20	22
Têtes fraisées Fig. 205.	Diamètre a	14	16	17	20	25	30	34	37	39	42	47	51	55	63
	Hauteur b	4	4	5	6	7	9	10	11	11	12	14	16	17	20
Têtes à T Fig. 206.	Largeur a	18	20	22	26	33	40	44	48	50	55	62	66	77	87
	Largeur b	8	9	10	12	15	18	20	22	23	25	28	30	35	40
	Hauteur c	7	8	9	10	13	15	17	18	19	21	23	25	29	33
	Rayon r	5	6	7	8	10	12	14	15	16	17	19	20	23	26
Têtes carrées reposant sur le bois Fig. 207.	Largeur a	18	20	22	26	33	40	44	48	50	55	62	66	77	87
	Hauteur b	6	7	8	10	12	14	16	18	19	20	22	24	28	32
	Longueur du renflement c	8	9	10	12	15	18	20	22	23	25	28	30	35	40
	Diamètre sous la tête d	9	10	11	13	16	19	21	23	24	26	30	32	37	42
Têtes goutte-de-suif sur bois Fig. 208	Diamètre a	20	22	24	29	36	38	40	»	»	»	»	»	»	»
	Hauteur b	4	4	5	5	6	7	8	»	»	»	»	»	»	»
	Hauteur c	1	1	2	2	2	2	2	»	»	»	»	»	»	»
	Longueur de l'orifice d	7	7	8	9	10	10	10	»	»	»	»	»	»	»
	Largeur du large	5	5	6	7	8	9	9	»	»	»	»	»	»	»

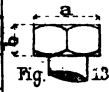


Fig. 199.

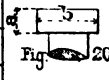


Fig. 200

Fig. 201.

Fig. 202

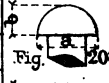


Fig. 203.

Fig. 204.

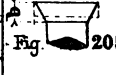


Fig. 205.

Fig. 206

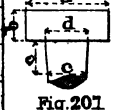


Fig. 207.

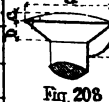
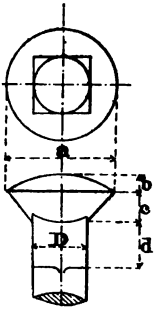


Fig. 208

Digitized by Google

Pour des diamètres plus petits que 15 millimètres, on prend (*fig.* 212) le noyau égal aux 8/10 du diamètre, et le profil adopté pour les filets est un triangle équilatéral. Pour les dia-



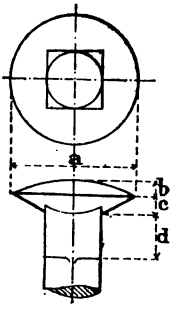
Tête fraisée, goutte de suif, collet carré reposant sur le fer.

D	8	10	12	15	18	20	25
a	15	20	25	30	35	40	45
b	3	3	4	4	5	5	5
c	5	5	7	8	9	10	10
d	8	10	12	15	18	20	25

Fig. 209

mètres dépassant 15 millimètres, on adopte soit le tracé de Sellers, soit celui de Whitworth légèrement modifié.

La *figure* 213 donne les principales dimensions répondant



Tête fraisée, goutte de suif, collet carré pressant sur le bois

D	8	10	12	15	18	20	25
a	25	25	28	35	40	45	50
b	3	3	4	4	5	5	5
c	3	5	5	5	7	8	10
d	8	10	12	15	18	20	25

Fig. 210

au tracé de Sellers ; le profil générateur est donc un trapèze qui se déplace sur un noyau de diamètre égal à 0,84 de celui du corps.

Digitized by Google

Dans le tracé de Whitworth la section par l'axe des filets de vis donne des triangles isocèles, d'une ouverture d'angle au sommet égale à 55°, et dont les sommets sont tronqués

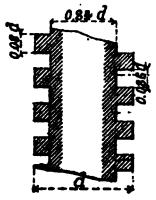


Fig. 211

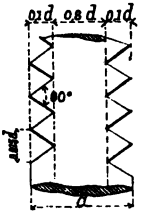


Fig. 212

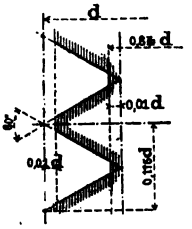


Fig. 213

de 1/6 de la profondeur du filet à chaque extrémité. On arrondit les arêtes par des arcs de cercle (*fig.* 214).

Ce tracé donne un angle au sommet trop petit. Voici le

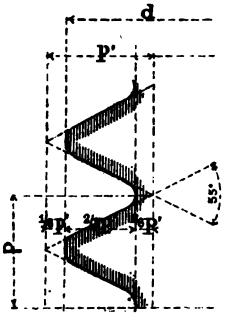


Fig. 214

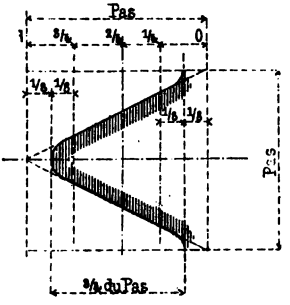


Fig. 215

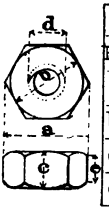
détail du tracé d'un filet selon les règles adoptées d'une manière générale à la Compagnie du chemin de fer du Nord. Les résultats que donne ce tracé sont excellents (*fig.* 215).

177. Écrou. — L'écrou se fait généralement à six pans, rarement à quatre. On lui donne le plus souvent une hauteur égale à celle du diamètre du corps du boulon.

Digitized by Google

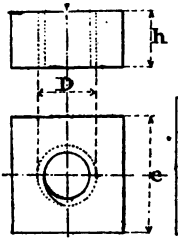
Voici les dimensions généralement admises dans la pratique :

Ecrou hexagonal



d	8	10	12	15	18	20	25	30	35
Pas	1½	1½	1½	2	2	2	3	3	3½
a	23	23	28,7	32,5	32,5	40	46	52	58
b	20	20	25	30	30	35	40	45	50
c	10	10	12	15	18	20	25	30	35
e	7	7	9	10	13	15	20	25	30

Fig. 216



Ecrou carré

D	8	10	12	15	18	20	25
Pas	1½	1½	1½	2	2	2	3
e	15	20	25	30	30	35	40
h	10	10	12	15	18	20	25

Fig. 217

Quand l'écrou est noyé, on lui donne une forme cylindrique : deux encoches E, placées à 180° permettent de le saisir avec une clé et de le faire tourner dans son logement (*fig.* 218).

Il est indispensable de mentionner les précautions prises par les industriels, pour la fabrication et la réception des boulons :

« Les boulons et écrous devront être exécutés exclusivement en fer de première qualité, provenant de fontes affinées au bois ; ce fer sera doux et nerveux. Il devra donner au *minimum* aux essais de traction :

38 kilogrammes de résistance par millimètre carré de section initiale ;

23 0/0 d'allongement mesuré sur une longueur initiale de 100 millimètres.

« *Boulons.* — Les boulons devront avoir leur tête refoulée sans soudure. Les *écrous* seront faits à l'emporte-pièce, et forgés *avant* le taraudage ; ils seront parfaitement réguliers.

« *Taraudage.* — Les boulons et écrous seront taraudés

Digitized by Google

avec le plus grand soin, de telle sorte qu'un écrou puisse se monter indifféremment sur tous les boulons de même diamètre, et un boulon sur tous les écrous de même diamètre, en donnant un serrage facile et sans jeu. »

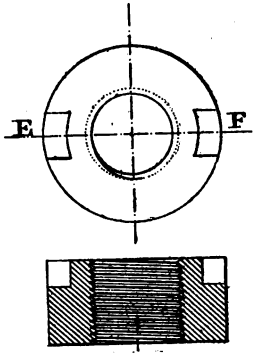


Fig. 218

178. Boulons divers. – Les boulons servant d'axe de rotation sont à tête et écrou spéciaux ; on leur donne le nom de *goujons*.

Le *boulon de fondation* (*fig.* 219) a pour objet de fixer les bâtis de machines. Il se compose d'une tige filetée à l'une de ses extrémités (filet carré, en général) et porte à l'autre extrémité une mortaise traversée par une goupille ; on interpose des rondelles métalliques pour empêcher la dégradation des maçonneries.

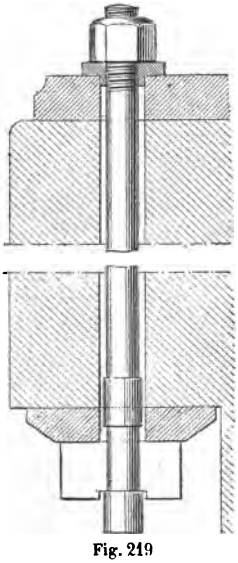


Fig. 219

Le *boulon de scellement* maintient des pièces métalliques contre un mur; son extrémité est terminée par une queue de carpe ou des barbelures. Le trou destiné à le recevoir doit avoir une profondeur égale à cinq à six fois le diamètre du boulon; on le remplit de plâtre, de soufre, de ciment ou de plomb.

179. Moyen d'arrêt des boulons. — Il a été mentionné plus haut (173) que, pour empêcher les boulons de tourner dans leur trou, on employait des collets carrés ou des ergots.

Pour empêcher les écrous de se desserrer, on se sert d'*écrous superposés*. Le premier est

Digitized by Google

serré à fond ; le deuxième repose sur le premier. Une *goupille*,

Diamètre de la tige du Boulon			8	9	10	12	15	18	20	22	23	25	28	30	35	40
Rondelles	Diamètre	a	9	10	11	13	16	20	22	24	25	27	30	32	37	42
	Diamètre b	sur fer	15	18	20	24	30	36	40	44	46	50	56	60	70	80
		sur bois	20	22	24	28	36	43	48	53	56	60	67	72	84	96
	Diamètre e	sur fer	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	7	7	8
		sur bois	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	8	8	9
Goupilles	Diamètre	a'	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	6	6	7	8
	Longueur	b	30	30	30	30	40	40	55	55	55	55	60	60	75	80

Convient pour les contre écrous

Fig 220

L. Courtier

Fig. 221

morceau de fil de fer coupé en deux, suivant une ligne diamé-

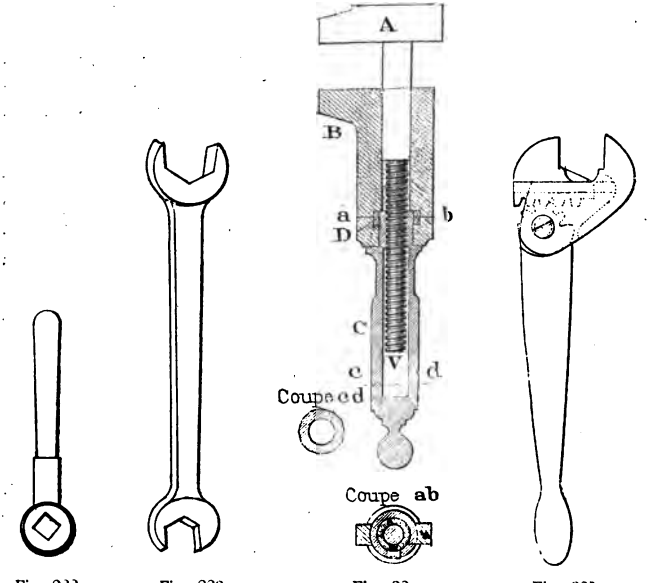


Fig. 222 Fig. 223 Fig. 22 Fig. 225

trale est placée dans un trou ménagé dans le corps du boulon et traverse à la fois l'écrou et le boulon.

Digitized by Google

L'inconvénient de cette dernière disposition est que le serrage n'a plus lieu par l'action de la goupille, si l'on est obligé de serrer l'écrou.

On emploie également les *clavettes* pour le serrage des boulons de grandes dimensions et les clés établies à poste fixe ; ces dernières constituent un frein excellent, mais ne permettent de serrer l'écrou que d'un sixième de tour ou d'un multiple.

Lorsque l'écrou repose sur du bois, on interpose toujours entre eux une rondelle, pour que la pression produite pendant le serrage se répartisse sur une plus grande surface et n'écrase pas les fibres du bois ; on se sert également de rondelles pour le fer.

Le tableau précédent (*fig.* 221) donne les dimensions des rondelles et des goupilles employées pour un boulon de diamètre donné.

180. Clés. — Les clés employées pour le serrage des écrous sont de modèles différents : les *clés à fourche* ou clés courantes, qui présentent une ouverture semblable à celle de l'objet à tourner ; elles sont droites (*fig.* 222) ou en S, à une ou deux ouvertures (*fig.* 223), ou à douille pour têtes ou embases carrées .

Ces clés ne peuvent servir que pour des écrous de diamètre déterminé.

La *clé anglaise* (*fig.* 224) remédie à cet inconvénient. Elle se compose de trois parties : la première, en forme de marteau, constitue la mâchoire supérieure A de la clé ; elle se termine par une tige à filet carré V.

La deuxième partie B forme la seconde mâchoire ; elle porte latéralement deux tiges plates, qui se réunissent à la partie supérieure pour former marteau.

La partie C constitue le manche ; elle est filetée à sa partie supérieure suivant le pas de la vis V.

Pour rendre ces trois parties solidaires, avant de réunir B et C, on intercale un collier mobile D dans un évidement ménagé dans la pièce B ; on place C dans son logement, et on rend le collier solidaire du manche à l'aide d'une vis noyée.

Digitized by Google

Si l'on présente la partie filetée de A dans l'orifice de la partie taraudée du manche, en tournant suffisamment C, on peut faire mouvoir A de haut en bas, jusqu'à ce qu'on obtienne entre les deux mâchoires l'écartement nécessaire.

On emploie également les clés à *molette* et les clés à *engrenage ;* dans cette dernière, c'est à l'aide d'un engrenage que porte le manche qu'on détermine le mouvement d'une mâchoire mobile, et, par suite, le serrage de la clé (*fig.* 225).

181. Vis à bois. — Vis à fer. — Les vis à bois sont classées d'après leur diamètre et leur longueur.

Le corps seul de la vis est cylindrique, la partie filetée est conique et pénètre dans le bois à la façon d'une vrille en déterminant un serrage énergique.

Les filets de la vis à bois doivent être assez distants et peu

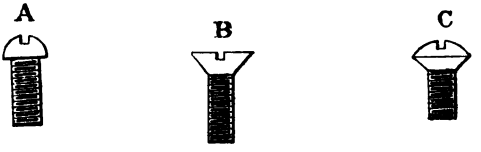


Fig. 226

épais. La tête a des formes variables, elle est hémisphérique, en goutte de suif, fraisée cylindriquement ou tron conique ; elle porte toujours une ouverture dans laquelle on place la tête du *tournevis*.

Pour les vis de grandes dimensions, on donne à la tête une forme spéciale ; elle est généralement à quatre pans ; c'est le cas des *tirefonds* qui se mettent en place à l'aide de clés.

Les *vis à métaux* (*fig.* 226) sont cylindriques dans toute leur longueur ; le filet est triangulaire ou carré, mais peu profond ; pour mettre ces vis en place, on est obligé de tarauder le métal comme pour un écrou.

Digitized by Google

182. TABLEAU DES VIS A BOIS A TÊTE FRAISÉE ET A TÊTE RONDE

(*Série Japy*)

NUMÉROS	DIAMÈTRE DU CORPS		PAS	TÊTE				LONGUEUR en MILLIMÈTRES
				FRAISÉE		RONDE		
	extérieur	intérieur		diam.	haut.	diam.	haut.	
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
10	1.5	0.8	0.6	3 4	0.9	3.0	1.4	5, 7, 10.
11	1.6	1.1	0.8	3.5	1.0	3.2	1.6	5, 7, 10, 13.
12	1.8	1.1	0.8	3.7	1.0	3.7	1.8	5, 7, 10, 13, 15.
13	1.9	1.4	0.9	4.0	1.0	4.0	2.0	5, 7, 10, 13, 15, 17.
14	2.1	1.4	1.0	4.3	1.2	4.3	2.2	5, 7, 10, 13, 15, 17, 20.
15	2.4	1.5	1.0	5.2	1.4	4.6	2.4	5, 7, 10, 13, 15, 17, 20, 25, 30.
16	2.7	1.5	1.25	5.7	1.6	5.2	2.6	5 à 17, 20, 25, 30, 35
17	2.95	1.9	1.4	6.0	1.8	5.7	2.8	5 à 17, 20, 25, 30, 35, 40.
18	3.3	2.4	1.4	7.0	1.8	7.0	2.8	5 à 17, 20 à 45.
19	3.7	2.4	1.5	8.2	2.4	8.0	3.8	5 à 17, 20 à 50.
20	4.1	2.8	1.7	9.0	2.6	8.5	3.8	10 à 17, 20, 55 et 60.
21	4.6	3.0	1.8	9.8	2.8	10.0	4.2	13 à 17, 20, 60 et 70.
22	5.1	3.7	2.2	11.0	3.0	10.7	4.8	20 à 70, 80, 90 et 100.
23	5.6	4.0	2.4	12.8	3.6	12.0	4.8	20 à 70, 80 à 100.
24	6.2	4.3	2.65	13.5	3.9	13.0	5.3	25 à 70, 80 à 100.
25	6.9	4.6	3.05	15.0	4.2	14.0	6.5	35 à 70, 80 à 100.
26	7.6	4.8	3.05	16.5	4.6	15.5	6.5	40 à 70, 80 à 100.
27	8.4	5.7	3.45	18.0	5.0	17.5	7.0	40 à 70, 80 à 100.
28	9.1	6.1	3.45	20.0	5.5	19.0	7.0	45 à 70, 80 à 100.
29	10.»	7.0	3.75	21.0	5.6	20.0	7.0	50 à 70, 80 à 110.
30	10.8	7.0	3.75	22.5	6.0	22.0	8.5	50 à 70, 80 à 110.

§ 2. — Assemblages à clavettes. — Clavettes de serrage Clavettes d'arrêt. — Contre-clavettes

183. Les **clavettes** ont la forme d'un prisme tronqué suivant un plan légèrement incliné sur le plan de base ; l'inclinaison du prisme constitue le *tirage* de la clavette ; c'est le tirage qui limite le chemin qu'une clavette peut faire parcourir à la pièce qu'elle est destinée à serrer.

On distingue : 1° les ***clavettes de serrage***, destinées à l'assem-

Digitized by Google

blage des parties mobiles des machines sujettes à prendre du jeu sous l'action de l'usure ; elles permettent de serrer les pièces sans arrêter le mouvement.

2° Les *clavettes d'arrêt*, qui sont utilisées pour l'assemblage d'une partie fixe de machine devant être montée rapidement et facilement.

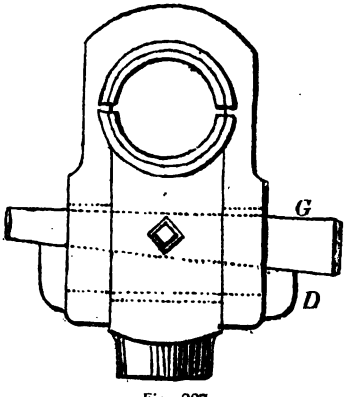


Fig. 227

Les *clavettes de serrage* (*fig.* 227) se font en fer ou en acier, de forme méplate ; elles ont leur tirage suivant les faces d'épaisseur et remédient à l'usure des pièces : comme elles peuvent sortir de leur logement, on emploie pour les maintenir une deuxième clavette D inclinée symétriquement et appelée *contre-clavette ;* cette dernière permet de percer des mortaises normalement à l'axe des pièces à assembler : elle porte, en général, deux talons pour éviter qu'elle ne tombe pendant la marche.

Le serrage des clavettes s'effectue au moyen de maillets en orme.

On fixe souvent les clavettes, pour empêcher leur déplacement, au moyen de vis de pression, ou en terminant la clavette par une partie filetée ; la contre-clavette forme écrou, et permet le serrage à l'aide d'un écrou E (*fig.* 228).

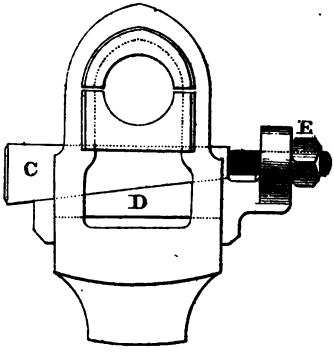


Fig. 228

L'emploi des clavettes présente de nombreux inconvénients.

Digitized by Google

Les *clavettes d'arrêt*, par exemple, servent à l'assemblage des poulies, volants, engrenages, manchons, etc., sur leurs arbres; elles diminuent la section de résistance des pièces, excentrent fatalement les pièces clavetées et n'assurent la liaison qu'en un point seulement de la circonférence de contact ; de plus, l'exécution matérielle du clavetage est une opération très délicate.

Les clavettes d'arrêt sont à talon ou sans talon, posées à plat sur l'arbre et noyées dans le moyeu, ou noyées à la fois dans l'un et dans l'autre, ou encore cintrées pour épouser le contour des deux pièces à assembler.

Le clavetage d'un volant sur son arbre se fait avec six ou huit clavettes en chêne; on vérifie le centrage de la pièce en la faisant tourner lentement devant un morceau de craie maintenu fixe ; la partie excentrée sera marquée d'un trait blanc; on agira successivement sur les clavettes jusqu'à ce qu'on obtienne un centrage parfait.

L'inclinaison donnée aux clavettes varie entre 1/20 et 1/15.

Voici quelles sont les proportions adoptées dans la pratique pour fixer les dimensions des rainures à faire dans les arbres pour des clavettes de dimensions données :

Diamètre de l'arbre a	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	140	160
Largeur de la clavette b	12	14	15	18	19	20	20	22	24	24	25	30	30	33	35	40	45
Epaisseur de la clavette c	9	9	9	12	13	13	13	14	15	15	16	18	20	22	24	26	30
Entaille dans l'arbre d	5	5	5	7	7	7	7	8	8	8	9	10	11	12	13	14	16
Entaille dans la roue e	4	4	4	5	6	6	6	6	7	7	7	8	9	10	11	12	14

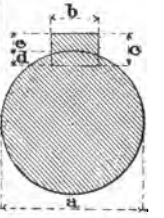


Fig. 229

§ 3. — Assemblages des arbres. — Accouplement de Sellers. — Accouplement à plateaux. — Manchons à frettes en fer. — Accouplement à griffes.

184. Les arbres se font généralement en fer, ils sont pleins ou creux; ces derniers sont avantageux au point de vue de

Digitized by Google

la résistance ; les arbres de grande dimension sont constitués par des *tronçons* de 6 à 12 mètres de longueur, assemblés entre eux selon l'un des systèmes suivants :

185. 1° **Accouplement de Sellers** (*fig.* 230). — Cet accouplement est constitué par un manchon M qui recouvre les deux

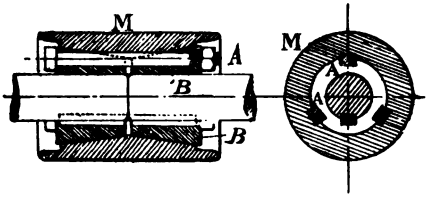


Fig. 230

arbres et est bi-conique à son intérieur. On rapporte deux bagues B ayant même conicité que le manchon, et l'on produit le serrage à l'aide de boulons A.

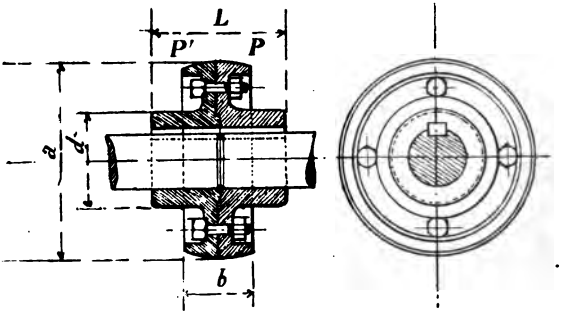


Fig. 231

186. 2° **Accouplement à plateaux** (*fig.* 231). — C'est un mode d'accouplement très employé. Les manchons qui entourent l'arbre peuvent servir de poulie. L'un des plateaux P est évidé, l'autre P' présente une saillie qui pénètre exactement

Digitized by Google

dans l'évidement du premier. On réunit ensuite les deux plateaux par des boulons en nombre variable.

Le tableau suivant donne les principales dimensions et le poids total des accouplements pour des diamètres d'arbres variant de 30 à 150 millimètres (Piat).

DIAMÈTRE des ARBRES	*a*	*b*	*d*	L	NOMBRE de BOULONS	POIDS NET
millim.	millim.	millim.	millim.	millim.		kilog.
30-35	180	85	75	170	4	14
40-45	210	100	95	200	4	21
50-55	250	115	110	240	4	35
60-65	285	130	125	255	4	50
70-75	315	145	145	315	4	72
80-85	360	160	160	360	6	105
90-95	400	180	180	400	6	142
100-110	450	200	200	440	6	197
120-130	505	220	220	460	8	280
140-150	560	240	260	480	8	350

Lorsqu'on emploie des arbres creux, voici comment s'opère l'accouplement : le tronçon d'arbre creux est assemblé avec un petit bout d'arbre plein qui tourne dans des paliers. L'arbre plein porte à chaque extrémité un manchon claveté; on coule au bout de l'arbre creux, préalablement étamé pour permettre l'adhérence de la fonte, le manchon conjugué du premier. On coule verticalement, pour consolider l'assemblage; l'arbre creux est percé de trous *t*. On réunit ensuite les deux manchons par un certain nombre de boulons (*fig.* 232).

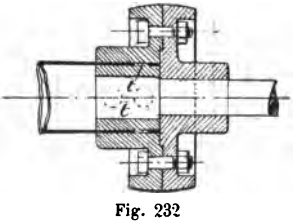


Fig. 232

On emploie également l'accouplement représenté sur la *figure* 233, à boulons noyés.

Digitized by Google

187. 3° Manchons à frettes en fer (Piat). — Le manchon est formé par deux demi-douilles symétriques. Deux frettes en fer F (*fig.* 234) à surface légèrement conique sont serrées sur le manchon soit au marteau, soit par l'intermédiaire de deux brides, qu'on rapproche à l'aide de boulons et qu'on retire ensuite : ces brides de serrage se trouvent dans le commerce avec les manchons correspondants. Voici repré-

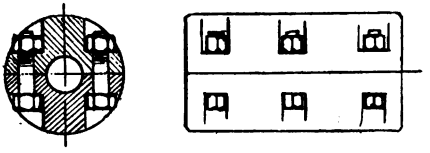


Fig. 233

sentées, dans le tableau suivant, les principales dimensions de ces manchons à frettes :

MANCHONS A FRETTES EN FER (PIAT)

DIAMÈTRE des ARBRES	LONGUEUR des MANCHONS L	LONGUEUR des FRETTES *l*	POIDS TOTAL	DIAMÈTRE des ARBRES	LONGUEUR des MANCHONS L	LARGEUR des FRETTES *l*	POIDS TOTAL
25	110	21	2	70	315	58	37
30	135	25	3	75	335	62	45
35	160	29	5	80	360	66	55
40	180	33	7	85	380	70	65
45	200	37	10	90	400	75	80
50	220	42	14	95	425	79	96
55	245	46	18	100	450	83	110
60	270	50	23	110	495	91	140
65	290	54	30	120	540	100	200

188. 4° Accouplement à griffes (*fig.* 235). — Les manchons d'embrayage fonctionnent par glissement; ils sont calés à frottement doux sur leurs arbres, et l'entraînement est produit par deux clavettes C noyées dans l'assemblage.

Ces manchons permettent d'embrayer et de débrayer pen-

Digitized by Google

dant la marche; ici la manœuvre s'effectue à l'aide d'un levier à fourche L.

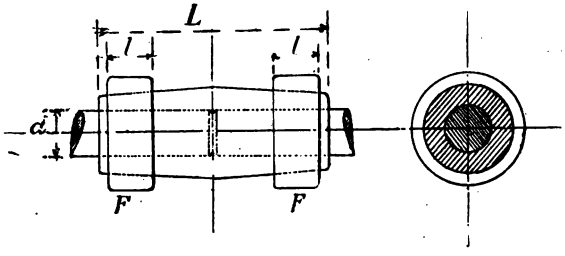


Fig. 234

Il existe d'autres procédés d'assemblages d'arbres entre eux; quelquefois, on se contente de forger, à l'extrémité

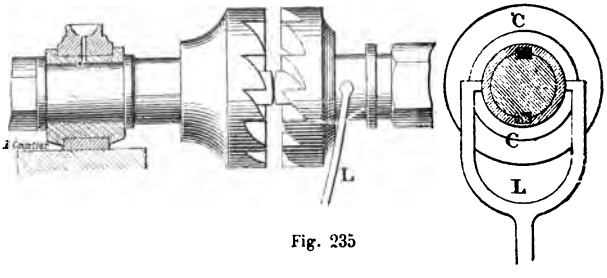


Fig. 235

des tronçons à assembler, des portées suffisamment larges pour permettre d'y loger les boulons qui constituent à eux seuls la liaison cherchée.

§ 4. — Joints de tuyaux. — Assemblages à vis, à emboîtement, à brides. — Assemblages spéciaux. — Cintrage des tuyaux.

189. Les **assemblages de tuyaux** se font de manières très diverses; on en peut distinguer trois modes principaux :

Digitized by Google

1° Assemblages par emmanchement à vis ;
2° — emboîtement ;
3° — brides rapportées.

1° Les *assemblages de tuyaux par emmanchement à vis* donnent lieu à deux procédés : les deux tuyaux peuvent se visser directement l'un sur l'autre sans aucun intermédiaire, ou se raccorder par l'interposition d'un manchon. Il arrive que, les conduites étant placées, on ne peut plus les faire tourner directement ; on a soin de fileter les deux extrémités à réunir en sens inverse ; le manchon pendant sa rotation produit le serrage des deux tubes à la fois. On graisse les filets de vis avec de la céruse.

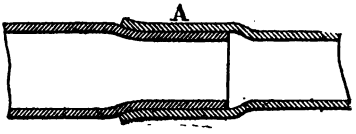


Fig. 236

2° Les *assemblages par emboîtement* diffèrent avec la nature du métal employé. Pour le cuivre l'emboîtement se prépare en élargissant à l'aide d'un mandrin l'extrémité A de l'un des tubes et en comprimant l'autre légèrement ; on fait un cordon de soudure dans l'espace annulaire, et on régularise ensuite à la lime (*fig.* 236).

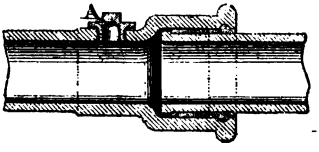


Fig. 237

Ce joint n'est évidemment pas démontable.

Pour les tuyaux en fonte servant dans les distributions d'eau, on emploie souvent les joints à *emboîtement et cordon* qui permettent une certaine élasticité, mais ne résistent qu'imparfaitement aux effets de la dilatation et de la contraction.

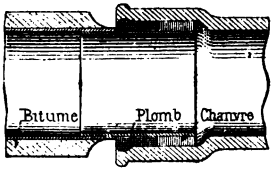


Fig. 238

Pour faire ce joint (*fig.* 237), on chauffe à feu doux les tuyaux ; on bourre de la filasse entre les deux tuyaux, ou on enroule une corde goudronnée jusqu'à mi-longueur de la

Digitized by Google

tulipe. On entoure le joint d'un bourrelet de terre glaise en ménageant un trou formant godet, et on coule dans le joint du plomb ou du mastic de fonte. Pour remplacer un des tuyaux il suffit de faire fondre le plomb, ce qui permet le démontage du joint. La *figure* 237 représente, en A, un bouchon en fer qui sert à l'essai des tuyaux. L'inconvénient de ce système provient de ce que le plomb n'adhère plus s'il se produit des tassements dans la conduite ; il en résulte des fuites. Il faut citer encore l'assemblage d'un tuyau en fonte avec une conduite en tôle bitumée dont la *figure* 238 donne la disposition. On emploie également pour ces conduites les *joints Chameroy* à emboîtement à vis.

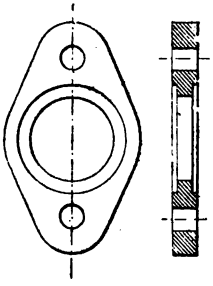


Fig. 239

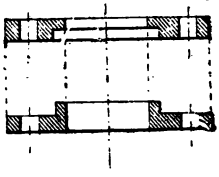


Fig. 240

3° Les *assemblages à brides* sont le plus communément employés. Il a été indiqué précédemment comment on procédait au brasage des brides sur les tubes de cuivre. Lorsqu'il s'agit de tubes de grandes dimensions, on fixe les brides par l'intermédiaire d'une cornière circulaire que l'on rive soigneusement. Les brides du commerce présentent différentes formes ; elles sont triangulaires, carrées, circulaires ou elliptiques ; on les munit quelquefois d'oreilles. On les trouve par séries complètes chez les constructeurs (*fig.* 239, 240, 241).

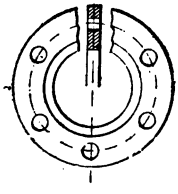


Fig. 241

On réunit les brides à l'aide de boulons, après avoir interposé dans le joint une bague en cuivre rouge, ou simplement une rondelle de plomb de 3 à 4 millimètres d'épaisseur qui se loge dans le fond d'une rainure. Le plomb ainsi encastré résiste bien à la chaleur.

Les tubes en fonte pour conduites d'eau sous pression sont

Digitized by Google

munis de brides elliptiques épaisses ; l'assemblage se fait par emboîtement à l'aide de deux boulons. On rend le joint étanche avec une garniture de gutta-percha fortement comprimée dans une rainure ménagée entre les deux brides (*fig.* 242).

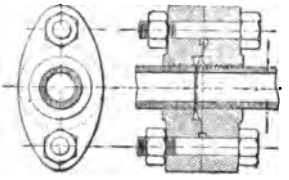


Fig. 242

Pour les petites conduites on remplace la fonte par le fer ; le joint se fait alors de la manière suivante : les extrémités des tubes sont taraudées extérieurement et reçoivent chacun une bride en fonte taraudée au même diamètre (*fig.* 243).

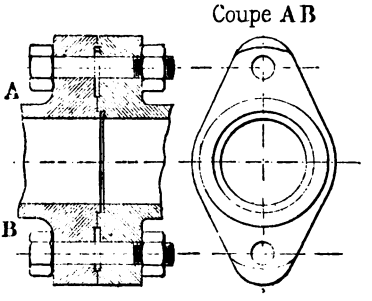


Fig. 243

On réunit ensuite les deux tubes par des boulons, après avoir interposé entre les deux brides une rondelle en gutta-percha.

D'une manière générale, on peut dire que les assemblages de tuyaux en cuivre se font au moyen de brides ; qu'on emploie des raccords en bronze pour les tuyaux de plomb, et des manchons et des brides pour les conduites en fonte.

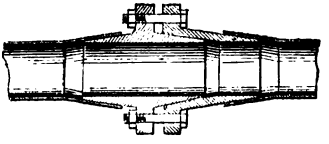


Fig. 244

Voici, pour terminer, quelques assemblages spéciaux qui ne rentrent pas dans les catégories précédentes, et qui rendent de grands services. La *figure* 244 représente un assemblage de tuyaux de cuivre rouge avec joints coniques, qui assurent une parfaite étanchéité.

Digitized by Google

Pour les conduites en fonte, il est bon de connaître le *système Petit*, qui permet la libre dilatation des tuyaux assemblés.

On dispose un bourrelet à l'une des extrémités de la conduite C qui porte également deux pièces articulées A. On fixe ces pattes dans des oreilles venues de fonte, à l'extrémité de l'autre tube, au moyen de broches B. Une rondelle de caoutchouc appliquée contre le bourrelet du tube C se trouve fortement comprimée et produit l'étanchéité du joint (*fig.* 245).

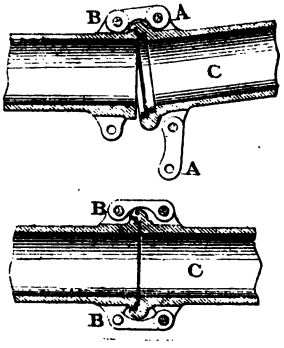


Fig. 245

Le *joint Lavril* (*fig.* 246) se compose d'une rondelle de caoutchouc vulcanisé C que l'on comprime à l'aide de boulons B entre le manchon de l'un des tuyaux, et une bride D mobile. Ce joint est excellent.

On a souvent besoin de cintrer des tubes *de fer* ou de les renfler en certaines parties; voici comment il faut opérer :

Pour *cintrer* un tube, on le remplit de sable de grès, parfaitement sec ; on produit le tassement de ce sable en secouant le tube à coups de marteau. Les extrémités du tube étant ensuite bouchées, on chauffe au rouge la partie à cintrer et on la ploie en arrosant d'eau la convexité ; de cette manière, le métal est refoulé du côté de l'intérieur et non étendu vers l'extérieur du cintre.

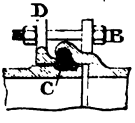


Fig. 246

Pour *renfler* un tube, on commence par le porter au rouge; on appuie ensuite l'extrémité à renfler contre un tas ou une enclume, après avoir préalablement refroidi le bord du tube dans l'eau. On refoule la matière, de manière à produire un renflement de forme ovoïde qu'on ramène à la forme cylindrique, en le forçant à passer dans une bague alésée au diamètre que l'on veut obtenir.

Digitized by Google

190. BRIDES RONDES. — (SÉRIE CAIL)

D″	D	D′	d	n	E	D″	D	D′	d	n	E
10 à 14	65	39	11.5	3	9	151 à 160	270	220	19 5	7	17
15 à 17	70	44	11.5	3	9	161 à 170	285	235	19.5	7	18
18 à 25	90	60	13 5	3	10	171 à 180	300	248	21.5	7	18
26 à 35	115	79	16.5	3	11	181 à 190	310	258	21.5	7	19
36 à 45	130	92	16.5	4	11	191 à 200	320	268	21.5	7	19
46 à 55	140	102	16 5	4	12	201 à 210	330	278	21.5	8	20
56 à 65	155	117	16.5	4	12	211 à 220	340	288	21.5	8	20
66 à 75	175	129	19.5	4	13	221 à 230	350	298	21 5	8	21
76 à 85	195	145	19.5	4	13	231 à 240	360	308	21.5	8	21
86 à 95	205	155	19.5	4	14	241 à 250	370	318	21.5	8	22
96 à 100	210	160	19.5	5	14	251 à 260	380	328	21.5	8	22
101 à 110	220	170	19.5	5	15	261 à 270	390	338	21.5	8	23
111 à 120	230	180	19.5	5	15	271 à 280	410	354	25	8	23
121 à 130	240	190	19.5	6	16	281 à 290	420	364	25	8	24
131 à 140	250	200	19.5	6	16	291 à 300	430	374	25	8	24
141 à 150	265	215	19.5	7	17						

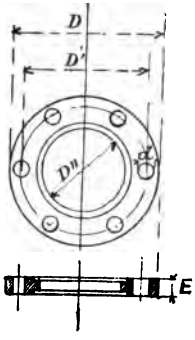


Fig. 239

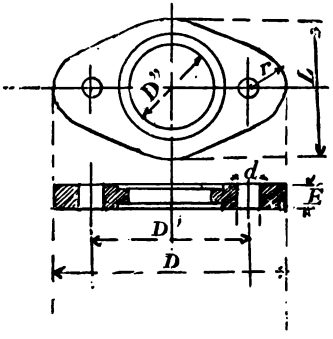


Fig. 240

Digitized by Google

191. BRIDES OVALES

D'	L	D	D'	E	*d*	*r*
10	40	66	40	8	11.5	14
11 à 15	51	79	49	9	13.5	17
16 à 25	63	101	63	10	16.5	20
26 à 35	75	123	77	12	19.5	23
36 à 45	85	139	93	14	19.5	26
46 à 55	99	161	109	16	21.5	29
56 à 65	110	177	125	18	21.5	32
66 à 75	123	201	141	20	24.5	35
76 à 85	135	217	157	22	24.5	38
86 à 95	147	239	173	24	27	41
96 à 100	156	250	184	26	27	44
101 à 110	168	274	200	28	30	46
111 à 120	180	290	216	30	30	48

Digitized by Google

CHAPITRE V

RIVURE

§ 1. — Différentes formes de rivets. — Épreuves

192. La **rivure** est employée pour les assemblages permanents et indéformables. On distingue la *rivure d'assemblage* employée pour les pièces de charpente, et la *rivure étanche* qui s'applique plus spécialement aux chaudières à vapeur et aux réservoirs.

Les rivets se font en fer fondu Bessemer ou Martin, très doux, et ne prenant pas la trempe. On emploie généralement du fer de bonne qualité pour les rivets ordinaires, le métal doux étant réservé pour les travaux soignés.

Pour l'assemblage des tôles de fer servant à la confection des chaudières, on emploie quelquefois des rivets en cuivre; on est obligé alors d'augmenter leur diamètre; on ne peut pas ainsi réaliser une bonne rivure d'assemblage à cause des différences de dilatation et d'élasticité des deux métaux.

Les rivets se composent de deux parties : 1° la *tige;* 2° les *têtes.*

Ils sont préparés d'avance par séries; les tiges sont coupées dans des barres de fer rond.

La première tête est faite à froid ou à chaud, selon que le diamètre est plus petit ou plus grand que 10 millimètres; la tige est placée verticalement dans une matrice présentant la forme à donner.

Digitized by Google

Les rivets doivent être recuits au rouge et refroidis lentement à l'abri du contact de l'air.

L'essai des rivets se fait à froid.

1° Pour constater la résistance dans le sens transversal, on prend des bouts de 0m,20 de longueur à la température ordinaire, et on les enfonce jusqu'à moitié de leur longueur dans des billes en bois de chêne percées au préalable. On les frappe latéralement dans la partie supérieure, de manière à les infléchir sous un angle de 45°. Ces fers ainsi courbés sont redressés à froid, et ne doivent présenter ensuite ni cassure, ni crique, ni aucune détérioration.

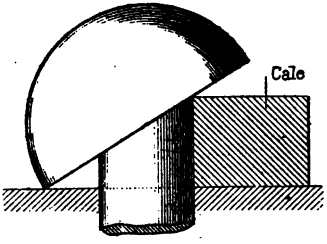


Fig. 247

Il est à remarquer que le fer fondu doux se ploie d'une façon complète, tandis qu'avec le fer d'excellente qualité le pliage est impossible.

Une autre épreuve consiste à placer le rivet dans un moule et à frapper la tête avec un marteau de 8 kilogrammes ; on doit pouvoir écraser la tête jusqu'au tiers de sa hauteur. On peut disposer une cale latéralement et frapper jusqu'à ce que l'inclinaison de la tête atteigne 45° (*fig.* 247).

2° Pour constater la résistance à la rivure, on rive à chaud, et le fer doit s'étaler bien uniformément sans se fendiller et sans qu'aucune parcelle s'en détache. La rivure faite, les têtes ne doivent jamais se détacher, quels que soient les chocs auxquels on soumette les tôles autour des rivets.

Extrait : « Les rivets seront en fer parfaitement soudé, se travaillant bien à chaud et non cassant à froid et présentant, sous le rapport du nerf, de la finesse et de la propreté. L'emploi des rivets en acier est interdit.

« Un trou de 3 à 4 millimètres sera percé à travers le corps du rivet ou du boulon à 20 ou 30 millimètres de l'extrémité. Cette extrémité, chauffée au rouge, sera fendue, et les branches seront abattues des deux côtés sur le corps du rivet. Aucune crique ou rupture ne devra se produire avant que

Digitized by Google

l'ouverture des branches n'ait atteint l'angle de 180°. Enfin, un essai à la traction fait sur plusieurs rivets ne devra pas donner de résultats inférieurs aux chiffres suivants :

Rupture.....	38 kilogrammes par millimètre carré	
Allongement.	15 0/0	—

La première tête peut être cylindrique, tronconique, hémisphérique, en goutte de suif, ou fraisée.

La deuxième tête peut présenter une forme conique (*à l'anglaise*), hémisphérique, elliptique ou fraisée. Les figures suivantes indiquent quelle doit être la quantité de matière à réserver dans la tige pour former la tête.

Des expériences prouvent que l'adhérence produite entre

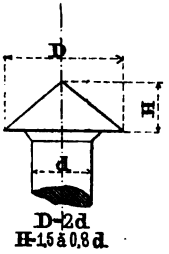


Fig. 248

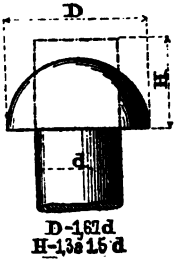


Fig. 249

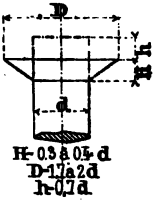


Fig. 250

les tôles par le serrage d'un rivet, ne dépasse pas 15 kilogrammes par millimètre carré ; jusqu'à cette limite, on peut admettre que les tôles assemblées se comportent comme un seul corps solide. Cependant, lorsque les rivets assemblen un grand nombre de tôles, il est difficile de les serrer énergiquement, car ils casseraient par refroidissement, ce qui arrive assez souvent ; on calcule alors la rivure comme devant résister au cisaillement. L'emploi de machines hydrauliques permet d'employer des rivets de grandes dimensions, serrés d'une façon uniforme.

Digitized by Google

§ 2 — Pose des rivets à froid. — Pose à chaud. — Outils employés. — Bouterolle. — Turc, etc. — Matage des rivets et de la tôle. — Généralités.

193. La **pose des rivets** se fait presque toujours à chaud ; la pose à froid, étant une exception, est réservée pour les petits ouvrages exécutés avec des tôles minces.

1° La rivure à froid se fait pour des rivets ne dépassant

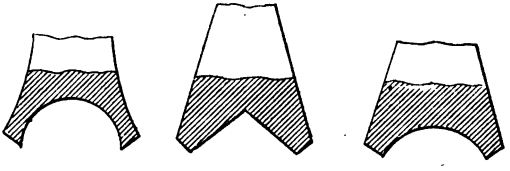


Fig. 251

pas 14 millimètres de diamètre. Les gazomètres se rivent à froid. Pour assurer l'étanchéité, on interpose entre les tôles une bande de toile ou une corde molle imprégnée de mastic de minium ; on emploie des petits rivets de 6 à 8 millimètres écartés de 26 millimètres de centre en centre, avec 26 millimètres de recouvrement.

La rivure à chaud à la main se fait au petit marteau ou à la bouterolle. Le *petit marteau* pèse environ 1 kilogramme ou $1^{kg},500$; il n'est guère employé que pour faire des têtes coniques. La *bouterolle* (*fig.* 251) est une pièce d'acier cylindrique ou tronconique, présentant à sa partie inférieure la forme exacte de la rivure que l'on veut obtenir.

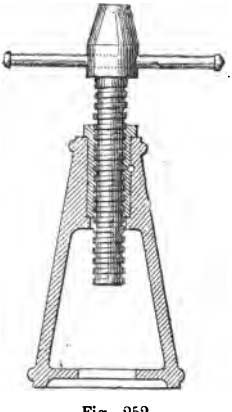


Fig. 252

Une équipe de riveurs se compose d'un chef, de deux aides

Digitized by Google

et d'un apprenti qui soigne le chauffage et jette le rivet, lorsqu'il est chaud, dans la direction voulue. Le rivet, ramassé à l'aide d'une pince à trois branches, est placé dans son logement. On le maintient fixe pour qu'on puisse le frapper à l'aide d'un *turc* (*fig.* 252), ou d'une contre-bouterolle que maintient un levier en bois sur lequel le *teneur d'abatage* s'assied pour tenir coup, ou plus simplement encore, à l'aide d'un *levier* d'abatage qui maintient solidement la tête. La tige du rivet ressort de l'autre côté ; le riveur et le frappeur saisissent leurs marteaux et écrasent la tige avec la bouterolle. En attendant le rivet, le riveur fraise au burin, s'il y a lieu, le trou poinçonné, et applique quelques coups de marteau sur la tôle aux environs du rivet, afin que les feuilles adhèrent mieux l'une à l'autre.

Quand le diamètre du rivet est faible, un riveur suffit pour former la tête. Il tient alors la bouterolle dans sa main gauche et frappe dessus avec le marteau de chaudronnier qu'il manœuvre avec sa main droite. Pour bien former la tête, il incline successivement la bouterolle dans tous les sens.

Quand les pièces à river sont de faible poids, et qu'on peut les manœuvrer facilement, c'est la contre-bouterolle qui est fixe. On la plante en terre ou on l'enfonce dans un billot ; on vient poser dessus le rivet introduit dans son logement. Dans ces conditions, la contre-bouterolle résiste beaucoup mieux aux chocs du marteau.

Il est nécessaire de prendre certaines précautions pour assurer la bonne exécution d'une rivure ; la première consiste à s'assurer si la hauteur du rivet n'est pas trop grande pour former la deuxième tête.

194. 2° Le chauffage du rivet doit se faire à l'abri du contact de l'air, dans un four spécial ou au feu de forge. On construit actuellement (*fig.* 253) des fours portatifs et tournants, pour le chauffage des rivets de charpente. La température normale étant atteinte, on place les rivets dans les bouches en ayant soin de les ranger avec soin sur les briques D formant sole pour les recevoir et en ne les poussant pas trop à fond pour éviter que le combustible ne les brûle.

Digitized by Google

On vide la première bouche de rivets chauds. On les remplace par des froids et on ferme le volet ; on opère de même pour les autres bouches sans interruption.

Le rivet doit être chauffé au blanc orange. La tête doit être formée complètement avant que le fer ne revienne au *noir ;* c'est ce qui a lieu lorsqu'on rive à la bouterolle ; avec le petit marteau, comme on est obligé de resserrer la matière et de mater tout le tour de la tête, on y arrive plus difficilement.

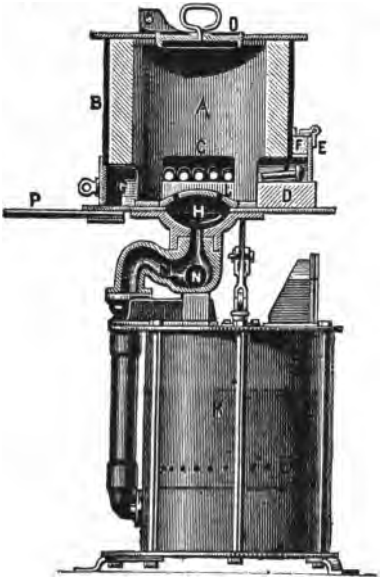


Fig. 253

Les rivets posés à la bouterolle sur de très fortes épaisseurs de tôle (croisures triples) ne doivent être chauffés que sur une longueur de tige correspondant à un rivet ordinaire, la tête restant noire ; sans cette précaution, le rivet casserait infailliblement par refroidissement.

3° Il est très important de donner à la bouterolle le profil exact que doit avoir la rivure ; si le creux est trop grand, la

Digitized by Google

tête du rivet n'appuie pas exactement sur toute la surface de la tôle. Il vaut mieux que la flèche donnée à la bouterolle soit un peu plus petite que celle admise pour la tête. Dans ce cas, le fer, après avoir rempli complètement le creux de la bouterolle, est expulsé sur tout le pourtour et forme des bavures que l'on enlève facilement.

Dès que le bouterollage est fait et la tête formée, on donne quelques coups de bouterolle en inclinant l'outil pour resserrer le fer sur les bords du trou et couper les bavures. On se contente souvent de donner quelques coups verticalement sur la tête, après avoir resserré les tôles à coups de marteau.

La *toilette* du rivet consiste à détacher au burin le bourrelet qui subsiste tout autour de la tête.

4° Le traceur doit prévoir l'assemblage des pièces et opérer de telle façon que les trous se présentent comme l'indique la figure 254, c'est-à-dire que la plus petite base des trous soit en contact. Les trous se trouvent mieux remplis après le rivetage, et leur écrasement constitue un véritable fraisage.

Fig. 254

Les trous des rivets doivent avoir au moins 1/2 millimètre de diamètre de plus que le corps du rivet brut; ils sont ordinairement poinçonnés.

Le *poinçonnage* altère le métal au voisinage du trou; cette altération est très considérable pour le fer aciéreux et l'acier, et peut déterminer un abaissement de résistance de 20 à 30 0/0; aussi recuit-on les tôles d'acier après le poinçonnage.

La diminution de résistance est bien moindre pour les tôles douces.

Le diamètre du poinçon est rarement plus petit que la moitié de l'épaisseur de la tôle; il faut employer pour le poinçonnage des outils en très bon état, sans quoi il se produit des bavures qui empêchent l'adhérence des tôles. Dans les travaux de charpente en fer, on procède toujours à l'*alésage* des trous avant de commencer le rivetage. On emploie à cet effet un alésoir spécial que l'on déplace le long des poutres à assembler. La mèche qui exécute le travail est fixée à l'extrémité d'une vis dont l'avancement est produit par

Digitized by Google

deux ouvriers agissant aux extrémités de mannettes.

Quand l'appareil est fixé, on peut donner à la mèche deux déplacements rectangulaires par l'intermédiaire de vis sans fin et de crémaillères sur lesquelles se meut le chariot porte-outil. On alèse ainsi un grand nombre de trous sans toucher au bâti qui supporte tout l'appareil. On enlève environ 1/2 millimètre de matière sur toute la circonférence du trou.

195. Le perçage au foret est plus coûteux que le poinçonnage, mais les trous sont plus exacts.

Le *matage* des rivets consiste à refouler la tôle tout autour du rivet, en ramenant la matière sur la tête à l'aide d'un outil non tranchant, légèrement arrondi, appelé *matoir*

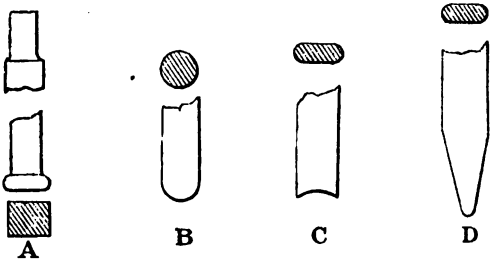


Fig. 255

(*fig.* 255) ; cette opération laisse subsister des sillons peu profonds autour de la tête.

Le matage des rivets faits au petit marteau occasionne dans la tige une tension supplémentaire qui va jusqu'à faire sauter la tête. Dans la rivure des chaudières à vapeur, on supprime le matage par l'emploi d'une bouterolle conique qui permet de comprimer fortement le rivet dans son trou.

Le matage des tôles est toujours précédé d'un *chanfreinage ;* on *abat un chanfrein* sur toute la longueur de la pince, après la pose des rivets ; ce travail se fait au burin ou, mieux, avec une *machine à chanfreiner.*

La rivure a pour effet de relever légèrement l'extrémité de

Digitized by Google

la tôle supérieure, qui n'adhère plus à celle inférieure ; le chanfrein exécuté, on *mate* soigneusement le bord de la tôle pour rétablir le contact. Des ouvriers habiles effectuent cette opération avec rapidité et sans qu'il se produise de lésions sensibles dans les tôles ; ils ont soin, pour éviter de faire bailler la tôle supérieure, de tenir le matoir suffisamment incliné ; la profondeur du sillon formé atteint rarement 2 ou 3 millimètres.

On n'exécute le matage que pour les rivures étanches.

Si le rivet est mal écrasé, la tête ne porte pas d'une manière complète sur le bord ; on peut le constater en frappant avec la panne du marteau sur le rivet ; si le son est clair et sonore, il n'y a pas de vide, et le rivet est bon ; si le bruit est mat, sourd, c'est que le rivet est mal posé.

Lorsque la tête est excentrée par rapport à la tige, on a le rivet *gascon*.

Avec une seule équipe de riveurs on ne peut guère poser plus de 200 rivets par jour pour assembler des tôles horizontales ; on atteint à peine 150 rivets pour des tôles verticales. Le rivetage à la main est donc très lent, il coûte cher ; de plus, la pose des rivets est très irrégulière ; le rivet mal soutenu fuit sous le coup de marteau, et sa tête ne serre pas les tôles : il s'en suit que le rivet ne travaille qu'au cisaillement.

§ 3. — Dispositions diverses de rivures

196. Dans la Marine française on emploie les formules suivantes pour les rivures de tôles entre elles, ou de tôles et fers profilés :

1° Rivure à *recouvrement*, ou à clin, et rivure à *simple couvre-joint*, ou à plat-joint (*fig.* 256 et 257), à un seul rang de rivets :

$$m = 1{,}125 + \frac{d}{e},$$

d représente le diamètre des rivets ; e l'épaisseur des tôles ; m l'écartement des rivets d'axe en axe.

Digitized by Google

2° Rivure à *recouvrement* (*fig.* 258), et rivure à *simple couvre-joint* (*fig.* 259), à deux rangs de rivets :

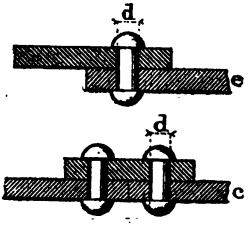


Fig. 256 et 257

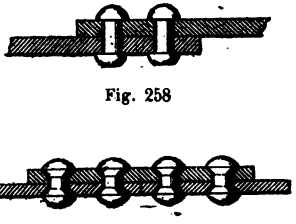


Fig. 258

Fig. 259

$$m = 1,125 + 2\frac{d}{e};$$

3° Rivure à *double couvre-joint* et à un seul rang de rivets (*fig.* 260) :

$$m = 1 + 2\frac{d}{e};$$

4° Rivure à *double couvre-joint* et à deux rangs de rivets (*rivure à chaîne*) (*fig.* 261) :

$$m = 1 + 4\frac{d}{e}.$$

Pour les tôles d'acier, les formules se modifient pour chaque cas correspondant :

1° (*fig.* 256 et 257) $m = 1,125 + 0,53\frac{d}{e};$

2° (*fig.* 258 et 259) $m = 1,125 + 1,05\frac{d}{e};$

3° (*fig.* 260) $m = 1 + 1,05\frac{d}{e};$

4° (*fig.* 261) $m = 1 + 2,10\frac{d}{e}.$

Digitized by Google

Ces formules supposent que la charge de rupture des fers à rivets par cisaillement est de 30 kilogrammes par millimètre carré; que les tôles de fer poinçonnées résistent à 24 kilogrammes en travers du laminage, et les tôles d'acier à 45 kilogrammes dans tous les sens; enfin, qu'il y a égalité de résistance par le travers des trous de rivets, entre les rivets travaillant au cisaillement et les tôles.

Fig. 260

Fig. 261

Le tableau suivant donne la proportion des rivures, d'après Fairbarin; elles sont usitées, à quelques modifications près, dans un grand nombre d'établissements de construction.

ÉPAISSEUR DE LA TOLE	DIAMÈTRE DES RIVETS	RAPPORT $\frac{d}{e}$	LONGUEUR DE TIGE	ÉCARTEMENT	RECOUVREMENT		DIAMÈTRE DE LA TÊTE
					SIMPLE RIVURE	DOUBLE RIVURE	
mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
4	8	2	20	30 à 36	30	48	11
6	12	2	27	36 à 43	37	61	15
8	16	2	36	42 à 48	47	81	19
9	18	2	40	46 à 52	54	85	21
10	19	1.9	45	48 à 54	57	87	24
12	20	1.7	55	53 à 58	59	93	31
14	22	1.5	63	56 à 63	63	104	34
16	24	1.5	71	65 à 71	72	126	38
18	27	1.5	78	72 à 78	78	142	42
19	28.5	1.5	82	77 à 82	82	151	44

On appelle *efficacité* du joint le rapport de la résistance de la rivure à celle de la tôle restée intacte, ce qui implique que les rivets ne travaillent que par cisaillement. L'efficacité croît avec le diamètre des rivets employés.

Digitized by Google

Lorsque la rivure est à deux rangs de rivets, il est avantageux de disposer les rivets en quinconces, afin de pouvoir rapprocher les deux rangs, et diminuer ainsi la longueur du recouvrement.

Quand on est conduit à des dimensions exagérées pour la tôle et les rivets, on a recours à des rivures convergentes (*fig.* 262 et 263). Les rivets, dans chaque file, décroissent à partir du milieu : la tôle entre les rivets de la deuxième rangée n'a à résister qu'à un effort égal au cisaillement total, diminué de l'effort que reçoivent les rivets de la première

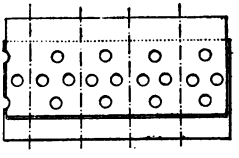


Fig. 262

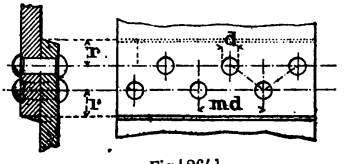


Fig. 264

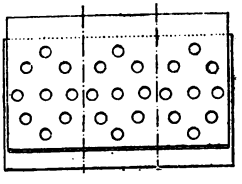


Fig. 263

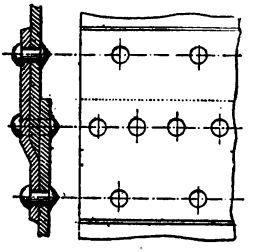


Fig. 265

rangée; la section de la tôle peut donc être moindre que dans la première, et le nombre des rivets plus grand.

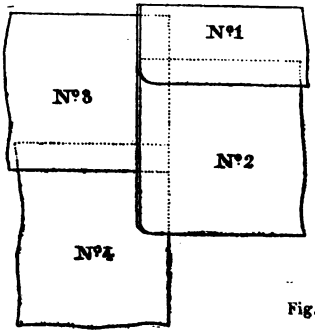
197. Rivure pour chaudières à vapeur. — Ici l'étanchéité est la qualité essentielle à réaliser; on détermine les proportions de la rivure à l'aide de formules empiriques dont voici les plus employées (Lemaître) :

$$d = 4 + 1{,}5e;$$
$$md = 2d + 10 = 3d + 20;$$
$$r = 1{,}5d.$$

Digitized by Google

r s'appelle *pince* , ou recouvrement (*fig.* 264).

Ces proportions donnent des rivures relativement faibles; l'emploi des machines à river qui permet d'augmenter le dia-



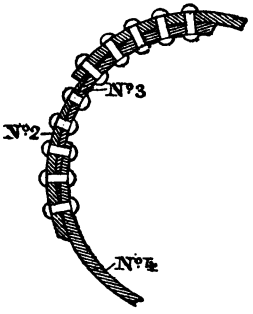


Fig. 266

mètre des rivets sans modifier l'épaisseur des tôles est, dans ce cas, très avantageux.

On emploie quelquefois l'assemblage mixte représenté (*fig.* 265); la bande de recouvrement est à l'intérieur de la chaudière et est fixée par trois lignes de rivets; l'inconvénient de cette disposition provient de ce qu'on ne peut pas mater ce joint.

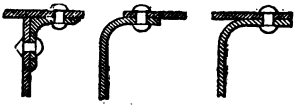


Fig. 267

Lorsqu'on a à opérer un assemblage de plus de deux tôles, il faut, pour que la rivure soit étanche, faciliter leur ajustement en étirant en sifflet les pinces des feuilles qui sont à l'intérieur du joint; on arrive aussi par cette disposition à diminuer la longueur de la tige du rivet, qui ne doit jamais dépasser trois épaisseurs de tôle (*fig.* 266).

Fig. 263

Pour assembler des tôles formant un angle, on emploie l'une

Digitized by Google

des dispositions précédentes (*fig.* 267). Le rayon de courbure donné à la tôle ne doit jamais être inférieur à quatre fois l'épaisseur de la tôle. Le recouvrement doit être égal au moins à trois fois le diamètre du rivet.

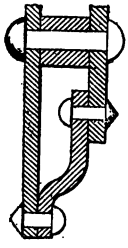


Fig. 269

Pour relier les bords de deux tôles voisines et parallèles, comme dans les boîtes à feu de locomotives, on se sert de l'une des dispositions ci-dessus : la troisième est la plus simple (*fig.* 268).

Pour maintenir un écartement invariable entre deux tôles très resserrées on emploie des rivets entretoisés (*fig.* 269). L'entretoise est simplement formée par un morceau de tôle enroulé et ouvert sur toute sa longueur ; le rivet est alors recouvert d'une couche de cuivre qui le protège de la rouille.

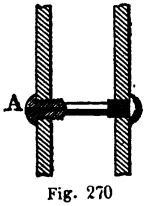


Fig. 270

Dans les chaudières des navires à vapeur, on se sert de rivets en cuivre filetés à leurs deux extrémités (*fig.* 270). La rupture de ces rivets se produit au filet en dedans des tôles. On en est averti par l'écoulement qui se produit par l'ouverture A, d'un petit trou percé dans l'axe de l'entretoise.

§ 4. — Rivure mécanique. — Machines à river à vapeur, à air comprimé. — Riveuses hydrauliques

198. Il est généralement admis aujourd'hui que la rivure à la main procède trop lentement et coûte trop cher ; de plus, lorsqu'on a un grand nombre d'épaisseurs de tôles à assembler, le chauffage du rivet devient extrêmement délicat, et, quelle que soit l'habileté de l'ouvrier qui procède à la pose, on ne peut jamais compter sur la bonne exécution du travail.

La réalisation d'une rivure soignée et économique a lieu par l'emploi de machines à river mues par des procédés mécaniques.

Digitized by Google

Ces machines peuvent se diviser en deux grandes classes: les riveuses fixes, et les riveuses mobiles.

Les riveuses fixes sont employées dans les ateliers de construction où l'on dispose de beaucoup de place et d'appareils de levage puissants permettant d'effectuer facilement le déplacement des pièces à river. Elles ont sur les riveuses mobiles l'avantage de produire des têtes de rivets parfaitement centrées, par suite de l'immobilité de la contre-bouterolle.

Les riveuses mobiles sont les seules qu'on puisse employer sur les chantiers où la place est limitée; elles sont mues soit par l'air comprimé, soit par l'eau sous pression.

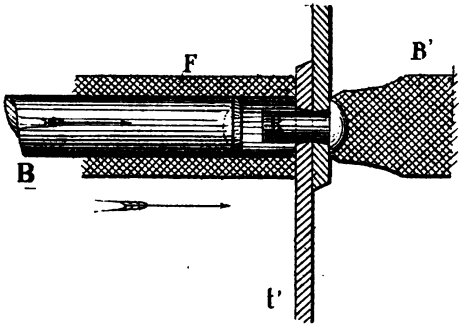


Fig. 271

Dans ces machines, la concentricité de la tête et du corps du rivet n'est jamais assurée d'une manière efficace, l'effort développé au moment de l'écrasement produisant un déplacement plus ou moins considérable de la contre-bouterolle.

L'étude suivante des riveuses est faite au point de vue des moteurs employés; les plus anciennes sont les *machines à river à vapeur* qui se trouvent toujours établies à poste fixe, par suite des difficultés qu'offre la commande d'appareils mobiles, toujours nécessaires sur les chantiers.

199. Machines à river à vapeur. — On peut dire, d'une manière générale, que les riveuses sont fondées sur le même

Digitized by Google

principe que les machines à poinçonner; il suffit de remplacer le poinçon par la *bouterolle*, et la matrice par la *contre-bouterolle*.

On construit des *riveuses* à excentriques analogues aux poinçonneuses; il est facile de se rendre compte du défaut capital qu'elles présentent : la course de l'outil étant constante pour un travail donné, il pourrait se produire des ruptures, si l'épaisseur des tôles à assembler devenait accidentellement trop grande, ou bien la rivure serait mal exécutée si l'épaisseur était trop petite.

On préfère employer des riveuses à *action directe*. Si l'on veut obtenir une riveuse étanche, il faut prendre certaines

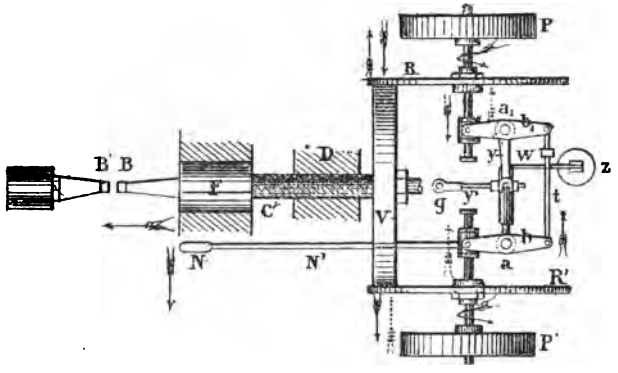


Fig. 272

précautions : supposons que les tôles ne soient pas en contact; au moment où l'on écrasera la tête du rivet, une certaine quantité de matière s'écoulera entre les tôles pour former un bourrelet irrégulier, et la tête du rivet sera considérablement diminuée. On est donc obligé, pour rapprocher les tôles, d'avoir recours à un outil appelé *fourreau*, cylindre creux en acier qui appuie l'ensemble des tôles et du rivet sur la bouterolle. La distribution se fait de manière à opérer d'abord le déplacement du fourreau F sur les tôles, puis ensuite celui de la bouterolle B qui termine la tige d'un piston actionné directement par la vapeur (*fig.* 271).

Digitized by Google

200. La *riveuse de Lebrun* permet d'accélérer la vitesse de l'outil lorsqu'il s'approche de la pièce à river (*fig.* 272). Elle se compose essentiellement d'une vis C terminée par un volant V, dont la jante recouverte de cuir vient en contact avec l'un des deux plateaux R ou R'. La vis C rencontre à son extrémité un coulisseau F qui ne possède qu'un mouvement de translation; la rotation du volant V dans un sens ou dans l'autre a donc pour effet de produire l'avancement ou le recul de la bouterolle B; à mesure que V s'éloigne du centre des plateaux sa vitesse augmente. La commande de la machine se fait à l'aide du levier N. Le galet *g* sert d'arrêt au volant V dans sa course, et produit automatiquement le déplacement des plateaux R et R'.

201. Machines à river marchant à l'air comprimé. — Dans ces riveuses, pour diminuer le diamètre du cylindre moteur, on emploie une bouterolle d'un genre particulier ne comprimant le rivet que sur une partie de sa surface; si l'on considère une bouterolle ordinaire, et qu'on découpe les deux branches inclinées ABC, A'B'C', on obtiendra un outil tronqué qui est justement celui employé dans les riveuses à air comprimé (*fig.* 273).

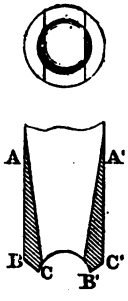


Fig. 273

Pendant la descente, la bouterolle ne possède aucun mouvement de rotation; mais, pendant la montée, une rainure hélicoïdale pratiquée dans le manchon qui entoure la tige du piston l'oblige à prendre un mouvement de rotation : au coup suivant, l'outil agira donc sur une autre partie de la tête du rivet. Il peut arriver cependant que, par suite d'un frappage incomplet, la tige ne soit pas écrasée partout; il faut alors démonter la machine, opération qui exige un temps assez long.

L'emploi de ces machines est beaucoup moins répandu que celui des riveuses hydrauliques sur lesquelles il est nécessaire de donner des détails plus complets.

202. Riveuses hydrauliques. — L'importance et le déve-

Digitized by Google

loppement que les machines à river hydrauliques ont pris dans les ateliers de construction sont amplement justifiés par les avantages de toute nature présentés par ces outils, qu ont substitué, au travail produit par la main de l'homme, une action toujours constante et bien autrement énergique (surtout dans le rivetage des épaisseurs multiples).

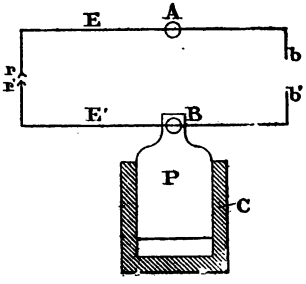


Fig. 274

« Sous l'énorme pression exercée par la riveuse hydraulique, le fer du rivet est refoulé sur toute sa longueur et vient remplir exactement le vide, quelle que soit sa forme, tout en serrant très fortement les tôles qu'il s'agit de réunir, même lorsque ces tôles sont d'une épaisseur considérable et en nombre notable. Le serrage est tellement énergique que les bavures disparaissent, et que l'huile, dont est enduite la surface du trou, suinte entre les joints; après l'achèvement de la rivure, toutes les parties assemblées, plates-bandes, cornières et rivets ne semblent faire qu'une seule pièce. Les écrous des boulons de serrage peuvent s'enlever à la main. » (Hallopeau.)

Les machines les plus employées en France sont : les riveuses Tangyes, Twedell, déjà anciennes, et, enfin, tout récemment, les riveuses françaises Delaloé-Piat.

203. La *riveuse Twedell* se compose essentiellement (*fig.* 274) d'un axe A fixe, relié à l'aide de deux tiges à un corps de presse vertical C; d'un axe B, mobile, parallèle au premier et entouré par la tête d'un piston P. Un levier à deux branches inégales E est mobile autour de A; il se termine en *r* par une rotule, en *b* par la bouterolle; E', mobile autour de l'axe B, présente les mêmes dispositions. Si l'on fait arriver sous le piston P de l'eau sous pression, l'axe B s'élève, les rotules *r* et *r'* viennent en contact, et *b* et *b'* se rapprochent pour produire l'écrasement du rivet.

Digitized by Google

M. G. Richard donne, ainsi qu'il suit, le mode de fonctionnement de cette machine (*fig.* 275) :

« L'eau sous pression admise sous la surface du gros piston P par la soupape *a*, dès que l'on tourne à gauche le levier *l*, s'échappe par *e*, quand on le tourne à droite; le gros piston est, en même temps, rappelé par l'action de l'eau sur le petit piston fixe *p* toujours en communication avec l'accumulateur. Les soupapes *a* et *e*, ramenées par des ressorts, sont ensuite maintenues sur leurs sièges par la pression même de l'eau; elles sont très sensibles à l'action du levier *l*, qui ne

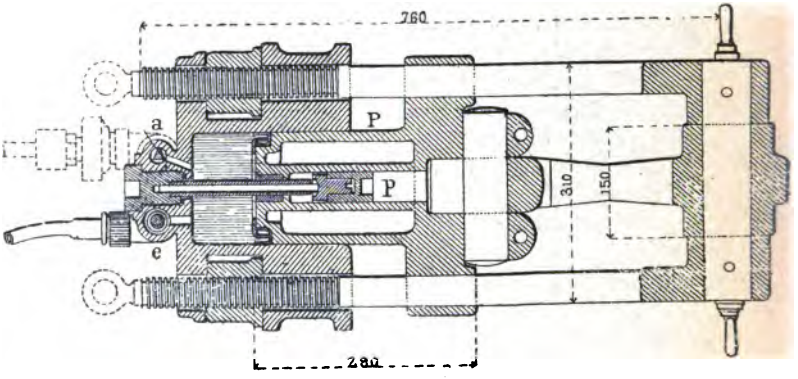


Fig. 275

peut fermer l'une sans ouvrir l'autre, dès qu'il dépasse un peu sa position moyenne. »

204. *Riveuses Piat-Delaloé.* — Dans toutes les machines à river, autres que celles dont la description va suivre, l'eau dépensée pendant la course du piston, pour amener les bouterolles sur le rivet — course qui est la plus grande, comparée à celle qui est nécessaire pour former la tête du rivet — constitue une perte de travail relativement élevée. Elles exigent donc des appareils de compression d'une capacité et d'un débit plus grands que ceux qui sont strictement nécessaires.

Digitized by Google

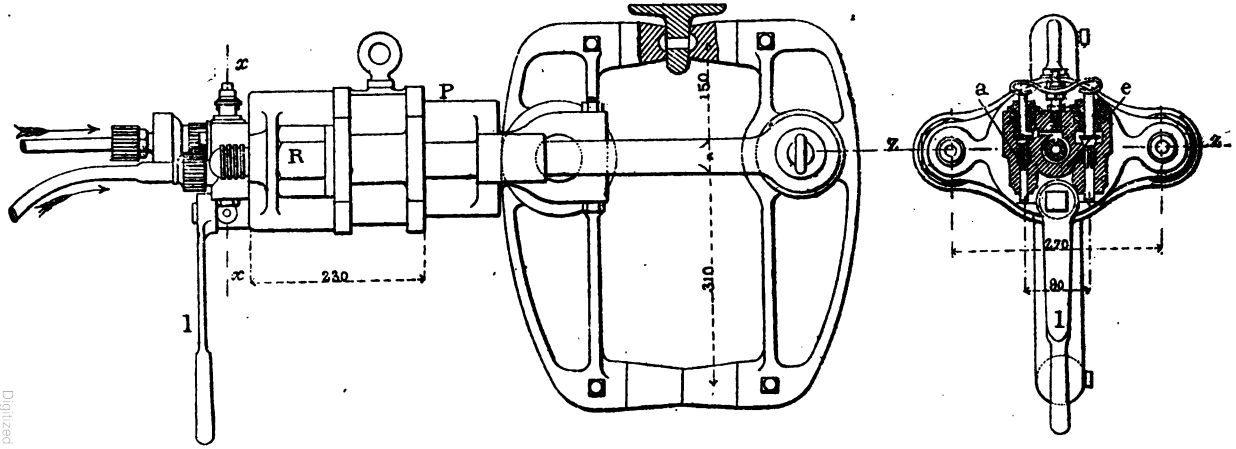


Fig. 275 *bis*.

Digitized by Google

M. Delaloé a imaginé le principe de l'approche à la main

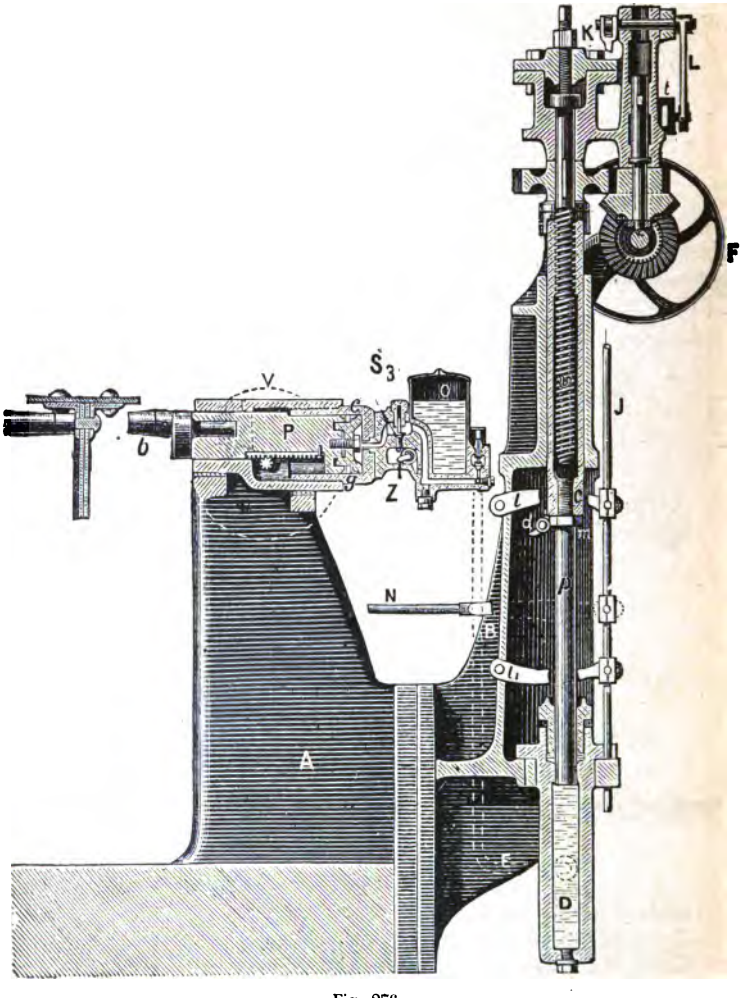


Fig. 276

sans pression de la bouterolle sur la tête du rivet avant

Digitized by Google

l'écrasement; il en résulte que les riveuses ne consomment qu'une quantité d'eau très minime, et que, par le fait de la mise en contact à la main de la bouterolle et du rivet à écraser, la concentricité parfaite de la tête et du corps de rivet est assurée.

Les riveuses fixes, construites sur ce principe, fonctionnent

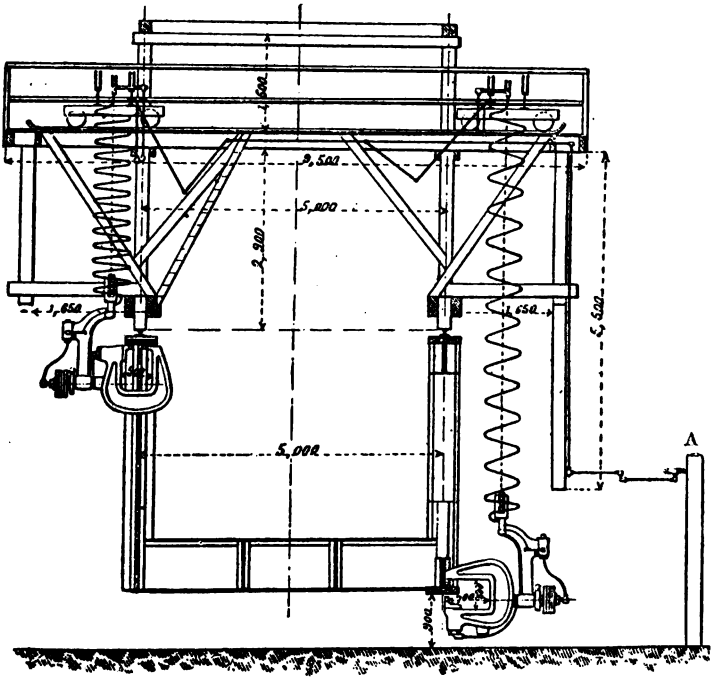


Fig. 277.

de la manière suivante : au moyen d'un volant V (*fig.* 276), on approche la bouterolle contre la tête du rivet; on a eu soin, au préalable, de lever, au moyen de la mannette Z, une soupape S_3. Celle-ci met en communication l'eau du réservoir avec le cylindre C, et cette eau remplit le vide, dans le

Digitized by Google

cylindre, produit par l'avancement du piston P. Il n'y a donc plus d'air dans le cylindre C, et aussitôt qu'on introduit l'eau, en la comprimant, on produit un travail utile à l'écrasement du rivet.

En appuyant sur le levier N, on fait embrayer les courroies; le piston plongeur *p* descend dans le cylindre D et refoule l'eau qui, trouvant une issue en E, s'échappe, vient agir sur le piston porte-bouterolle P, et opère la formation de la tête du rivet.

Une fois celle-ci terminée, on relève le levier N, et les courroies font remonter le piston P qui s'arrête automatiquement par leur déplacement sur les poulies fixe et folle.

Une soupape de sûreté réglée par un contre-poids se lève si la pression devient trop forte, évitant ainsi les accidents. Un taquet de débrayage placé à la partie inférieure de la colonne permet également au piston plongeur de s'arrêter dans son mouvement, si, par inadvertance, le rivet fini, l'ouvrier avait oublié de faire la manœuvre nécessaire.

Ces machines donnent environ cent quatre-vingts coups de piston à la minute ; on peut arriver facilement à une production de 2.000 rivets par jour.

205. Riveuses mobiles. — Le rivetage sur chantier des ponts a donné lieu à des applications intéressantes de riveuses hydrauliques; plusieurs cas se présentent:

1° Le *montage* s'effectue par voie de lançage ; on fait sur la plate-forme de montage une installation hydraulique fixe. Les riveuses (reliées à la tuyauterie principale fixe A par des branchements spéciaux avec joints à rotule) ont accès dans toutes les parties à travailler, par l'intermédiaire d'une grue ou d'un chevalet roulant sur les semelles des membrures supérieures du pont (*fig.* 277). Le système est rendu très mobile sur la longueur de la tuyauterie fixe qui règne tout le long de la plate-forme de montage.

La grue à chevalet qui porte les riveuses peut être faite aussi de façon à encadrer le tablier métallique, au lieu de rouler sur les membrures du pont.

2° Le *montage du pont* se fait sur une passerelle de service. Il faut alors, surtout si le pont a une longueur un peu

Digitized by Google

grande, pouvoir installer sur une grue roulante tout l'attirail mécanique de compression, machine motrice, pompes

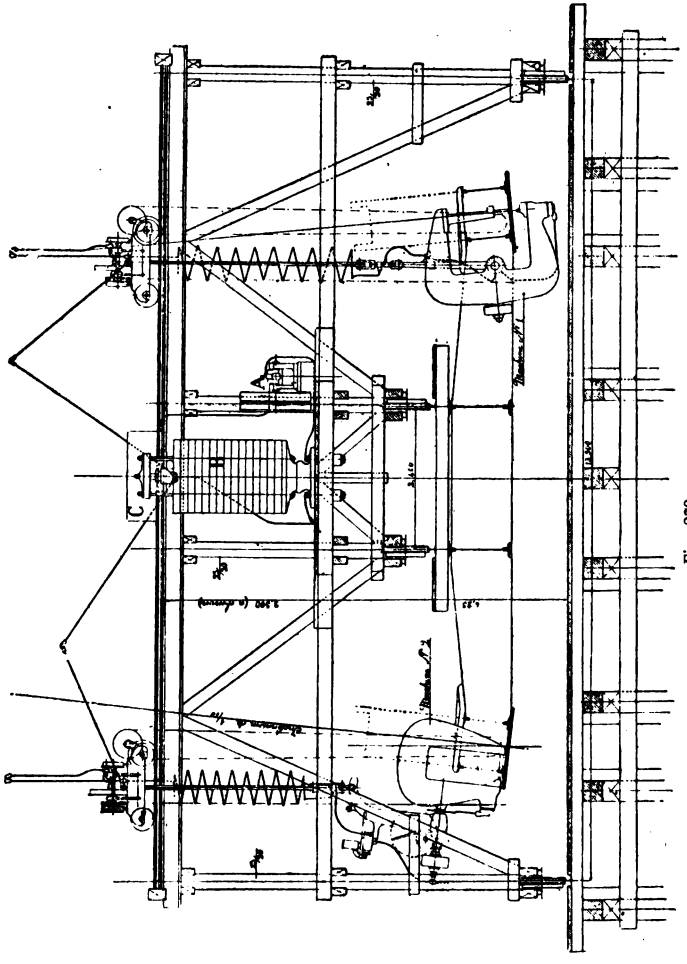


Fig. 278

et accumulateur, ainsi que les riveuses. La tuyauterie devient donc peu importante dans cette disposition.

Digitized by Google

La figure 278 montre une installation de ce genre, étudiée par la Compagnie de Fives-Lille.

Les riveuses sont suspendues à des treuils roulants ou à des palans hydrauliques, et sont alimentées chacune par un serpentin qui permet, pratiquement, leur déplacement vertical. La tuyauterie reliant l'accumulateur au pont rou-

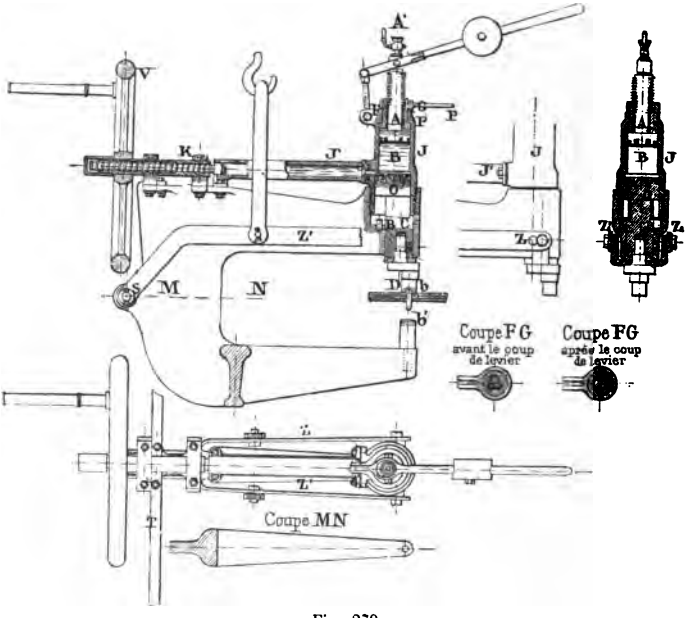


Fig. 279

lant est articulée, c'est-à-dire que les deux tuyaux sont réunis par des joints à rotule ou à genouillère qui permettent le déplacement en longueur et en largeur des riveuses. Ordinairement, on s'impose l'obligation économique de faire travailler les riveuses sur toute la largeur du pont et sur la longueur d'un panneau sans déplacer la grue qui les porte et le chariot sur lequel sont montés les appareils de compression avec leur moteur.

Digitized by Google

La riveuse pour poutres à caisson est représentée sur la *figure* 279. Le bâti C de la machine est en acier coulé. Il porte à sa partie supérieure un cylindre J dans lequel se meuvent deux pistons; l'un inférieur O qui porte la bouterolle *b*; l'autre supérieur A dont la tige est terminée par un filet de vis d'une culasse mobile de canon. Un écrou manœuvré par le levier P est, comme la tige du piston A, à filet de vis interrompu.

Le rivet à écraser étant placé comme le représente la figure, et l'écrou étant dans la position indiquée dans la coupe FG avant le coup de levier, le contrepoids appuie sur le piston A, refoule le liquide B, et fait descendre le piston O jusqu'à ce que la tige du rivet vienne toucher la bouterolle *b*. Le riveur, placé devant la machine, fait alors effectuer au levier P un sixième de tour, pour le ramener dans la position donnée par la coupe FG après le coup de levier. Les filets de l'écrou sont engagés dans ceux du piston A, et ce piston est bloqué.

A ce moment l'aide riveur, placé à l'arrière de la machine, fait tourner le volant V, claveté sur un écrou K, qui ne peut que tourner sur lui-même sans avancer. La rotation de cet écrou fait avancer une vis à deux filets carrés dont l'extrémité antérieure, armée d'un piston, refoule le liquide B dans le cylindre J. Le piston A étant bloqué, le piston O descend en écrasant le rivet sur la contre-bouterolle *b'*.

L'aide riveur maintient le rivet serré pendant quelques secondes pour le laisser se refroidir, puis il tourne le volant V en sens inverse, et la pression atmosphérique fait remonter le piston O. Le riveur, à son tour, dégage le piston A en faisant tourner le levier P d'un sixième de tour, soulève, à l'aide du levier F, le piston A qui appelle le piston O et la bouterolle (par la pression atmosphérique qui s'exerce sous le piston O), bloque le piston A et se trouve prêt à recommencer. (G. Oslet.)

L'ouvrier a soin d'accélérer la vitesse du volant V, jusqu'à ce que l'arrêt brusque du volant, par l'arrivée à fond de course de la bouterolle, produise une pression finale très énergique qui oblige la matière du rivet à pénétrer dans les moindres fissures. On peut poser 100 rivets par heure avec cette machine.

Digitized by Google

Aux chantiers du Pont-Mirabeau, actuellement en construction, fonctionnent quatre riveuses à accumulateur du système Piat-Delaloé (*fig.* 280). Ces machines travaillent simultanément à raison de deux rivets en acier doux de 25 millimètres de diamètre à la minute. La pression dans le cylindre peut atteindre 200 et même 250 kilogrammes par centimètre carré. La pression sur le piston porte-bouterolle est celle adoptée par l'Administration des Ponts et Chaussées, soit de 90 kilogrammes par millimètre carré de la section du corps du rivet, correspondant à 45 tonnes pour un rivet de 25 millimètres de diamètre. On compte 50 millimètres d'écrasement pour former la tête et remplir complètement les trous percés dans douze épaisseurs de tôles.

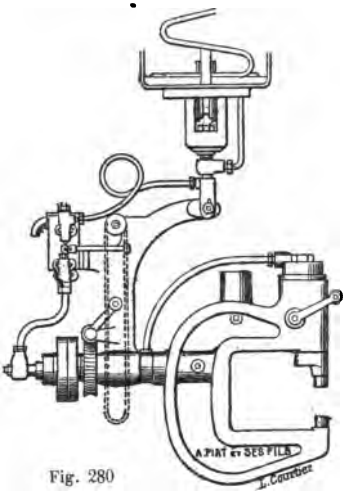


Fig. 280

Le principe de l'approche à la main est toujours appliqué dans le travail : l'ouvrier commence par amener le piston porte-bouterolle sur le corps du rivet en agissant sur la manivelle extérieure du cylindre hydraulique qui commande un pignon et une crémaillère ; l'eau du réservoir remplit exactement le volume engendré pendant ce mouvement comme dans la riveuse fixe décrite précédemment. On ne dépense qu'un demi-litre d'eau par rivet posé.

206. Riveuse électrique. — Il arrive fréquemment qu'il est plus avantageux d'adopter la commande électrique pour les riveuses. Dans ce cas, la canalisation par fils ne présente aucune des sujétions de la tuyauterie pour conduites hydrauliques ; le poids des appareils moteurs, ainsi que leur emplacement, est considérablement diminué. De plus, le travail

Digitized by Google

mécanique de la génératrice se proportionne toujours à l'effet utile à obtenir, réalisant automatiquement une économie notable, lorsque plusieurs riveuses suspendent leur travail.

Les riveuses Piat-Delaloé fonctionnent moins rapidement que les riveuses Twedeel, mais la lenteur de l'appareil est largement compensée par l'économie d'installation et par l'économie du travail dépensé.

Digitized by Google

CHAPITRE VI

ESSAIS ET RÉSISTANCE DES MÉTAUX

§ 1. — Barreaux d'épreuves. — Principes des machines à essayer. — Résultats obtenus

207. Les épreuves auxquelles on soumet le métal à essayer doivent être exécutées avec beaucoup de soin et de précision.

Lorsqu'on doit essayer des tôles à la traction, on découpe les barreaux d'essais comme l'indique la *figure* 281. Ces barreaux s'engagent dans les deux chapes de l'appareil essayeur et se fixent à l'aide de broches.

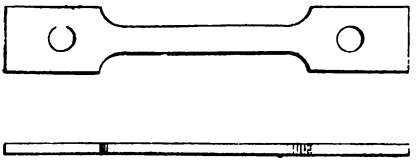


Fig. 281

On donne généralement aux éprouvettes fabriquées avec les aciers de coulée une forme cylindrique avec renflements coniques aux extrémités (*fig.* 282).

Dans la pratique, pour mesurer l'allongement total éprouvé par le barreau, on marque deux points de repère au pointeau, au début de l'expérience.

On détermine l'allongement de rupture après que la pièce a été divisée en deux fragments, que l'on ramène au con-

Digitized by Google

tact aussi exactement qu'on le peut pour mesurer la distance finale des deux repères.

La longueur des barreaux paraît n'avoir aucune influence sur la charge de rupture, mais elle influe considérablement sur l'allongement proportionnel [1]. Quand on a dépassé la charge limite d'élasticité, la charge continuant à croître, le barreau s'allonge progressivement, en s'amincissant sur une partie de sa longueur; il se produit une ***striction*** et la rupture de l'éprouvette se produit en général dans la section la plus réduite.

Lorsque les têtes des barreaux d'épreuve sont très rapprochées et que la longueur primitive de la tige n'est plus qu'une fraction de son diamètre, la contraction de la section de rupture et son allongement proportionnel sont à peine sensibles. Au fur et à mesure que les deux têtes s'écartent, la striction apparaît et se développe. A un moment donné, l'étranglement se produit, indépendamment de l'action des têtes, au lieu de se trouver dans la région de striction; une portion du barreau demeure prismatique et n'est plus sujette aux mêmes influences.

Fig. 282

L'allongement proportionnel diminue avec la longueur du barreau.

La charge de rupture est d'autant plus grande que la section de l'éprouvette est plus petite, elle est également plus

[1] Il est utile de rappeler les quelques définitions suivantes :

On appelle *allongement élastique* la partie de l'allongement total qui disparaît par la suppression de la charge à laquelle on soumet une tige de section quelconque.

L'*allongement permanent* est la partie de l'allongement qui subsiste quand on a supprimé la charge.

L'*allongement proportionnel* est le rapport de l'allongement élastique à la longueur que reprend la tige après la suppression de la charge.

Le *coefficient d'élasticité* exprime le rapport de la charge par unité de surface à l'allongement proportionnel.

La *charge limite d'élasticité* est l'effort rapporté à l'unité de surface à partir duquel les déformations permanentes commencent à être appréciables.

La *charge de sécurité* est celle que l'on admet dans les calculs pour le travail des pièces.

Digitized by Google

grande lorsque les efforts croissent progressivement et lentement.

Quand on fait agir une charge instantanée, la différence de résistance peut atteindre 20 0/0. Ces différentes observations prouvent que les résultats obtenus n'ont de valeur que pour l'éprouvette expérimentée; on a démontré, cependant, que deux éprouvettes de même métal et affectant des formes géométriques semblables, donnent les mêmes allongements à la rupture. Il serait donc désirable que les expérimentateurs s'entendissent, une fois pour toutes, pour arrêter définitivement la forme et les dimensions qui seraient admises pour les essais à la traction des fers et des aciers.

On semble aujourd'hui disposé à admettre une longueur de 200 millimètres entre repères et un diamètre égal à 20 millimètres pour les éprouvettes cylindriques.

Pour les éprouvettes plates découpées dans les tôles ou les barres laminées, on leur donnerait la même longueur, avec une largeur uniforme de $0^m,020$ et une épaisseur égale à la tôle expérimentée.

208. Principes des machines à essayer les métaux. — Les machines sont de deux genres : les machines à poids et à levier, et les machines hydrauliques.

Les premières sont les plus simples; un système de leviers permet en général d'amplifier les efforts produits dans le rapport de 8 à 20. Le plateau qui porte la charge est toujours très rapproché du sol, afin d'éviter les accidents qui pourraient se produire au moment de la rupture de l'éprouvette ; les leviers sont également limités dans leur course par des taquets ou des freins hydrauliques.

Pour les essais industriels, portant sur des barreaux de dimensions considérables, on emploie des presses hydrauliques disposées, soit verticalement, soit horizontalement; les charges agissantes sont mesurées à l'aide de manomètres, et les allongements sont relevés à chaque augmentation de charges à l'aide de repères tracés sur l'éprouvette ; dans les expériences très précises, on se sert d'un cathétomètre.

La charge limite d'élasticité ne s'obtient que très approximativement avec les appareils ordinaires. M. Cordier en a

Digitized by Google

imaginé un qui permet de déterminer cette charge à un demi-kilogramme près ; on est averti qu'un allongement commence à se produire dans l'éprouvette par l'arrêt d'une sonnerie trembleuse ; en graduant convenablement les charges, par petites quantités, on arrive très exactement à saisir l'instant où l'allongement de l'éprouvette produit l'interruption du courant. La charge correspondante donne la limite d'élasticité.

On trouvera consignés dans le tableau suivant les résultats moyens des expériences faites sur le fer, la fonte et l'acier, pour la résistance à l'extension :

DÉSIGNATION DES MÉTAUX		LIMITE D'ÉLASTICITÉ	LIMITE DE RUPTURE	ALLONGEMENT DE RUPTURE 0/0
Fonte grise.....		6	12	0,70
—			11	0,25
Fonte blanche.....		7	15	»
Acier extra-dur.....		50	90	6
— très dur.....		45	85	9
— dur.....		41	75	13
— mi-dur.....		37	65	17
— mi-doux.....		34	55	22
— doux.....		31	47	24
— très doux.....		28	43	26
— extra-doux.....		27	37	30
Fer commun..	long..	20	32	6
	travers	17	29	3,5
Fer ordinaire..	long..	21	33	9
	travers	18	30	5
Fer fort.....	long..	21,5	33,5	13
	travers	19	31	8
Fer fort supér'	long..	22	34	16
	travers	20	32	12
Fer fin.....	long..	23	35	18
	travers	21	32	14
Fer fin extra..	long..	24	36	21
	travers	22	34	16
Fer spécial de Suède à rivets	long..	20	30	30
	travers	19	28	28

On admet dans les calculs une charge de sécurité égale au sixième de la charge de rupture.

Digitized by Google

Les essais à la *compression* ne fournissent que des résultats incertains et presque toujours inexacts; en effet, lorsqu'on opère sur des éprouvettes courtes, il faut, pour déterminer convenablement la limite d'élasticité, un appareil assez précis pour mesurer la hauteur de l'éprouvette à 1/1000 près pendant l'essai; si l'on a affaire à des éprouvettes longues, les renseignements qu'elles fournissent sont inexacts, parce qu'elles se brisent par flambement ou par flexion.

On admet dans les calculs que la résistance extrême au *cisaillement*, est égale aux 4/5 de la limite de rupture à l'extension, pour les fers et les aciers doux; ce rapport tomberait à 2/3 et même 3/5, pour les métaux durs.

Torsion. — On admet également pour la torsion la limite de sécurité égale aux 4/5 de celle relative à la traction directe.

§ 2. — Essais des fontes — Caractères généraux

209. L'élasticité et la ténacité des fontes sont extrêmement variables; mais, dans tous les cas, la charge limite d'élasticité est voisine de la charge de rupture. L'*allongement* à la rupture est faible; les fontes truitées ou grises résistent mieux à l'extension que les fontes blanches. La résistance à la rupture semble augmenter avec la densité.

Le soufre augmente la ténacité des fontes, le silicium également jusqu'à la proportion de 2,5 0/0; en plus grande quantité, il la diminue. Le phosphore rend les fontes cassantes; il en augmente la résistance et en diminue la limite d'élasticité; il augmente aussi la *fluidité* des fontes, alors que le soufre la diminue.

Le manganèse augmente la dureté, la résistance et la ténacité des fontes, mais il facilite la cristallisation et rend les fontes impropres au moulage.

Les fontes chauffées à l'abri de l'air se dilatent et diminuent de ténacité; elles s'écrasent sous le marteau.

Les fontes grises résistent mieux au choc à chaud qu'à froid.

Digitized by Google

Les fontes reçoivent l'aimantation et peuvent devenir magnétiques, mais moins que le fer et l'acier.

210. Essais des fontes employées au pont Sully à Paris. — « Les fontes ont été essayées au choc et à la flexion.

« Les essais au *choc* ont été faits sur des barreaux carrés de $0^m,04$ de côté et de $0^m,20$ de long, avec un boulet libre de 12 kilogrammes suspendu à une ficelle, et une enclume de 12 kilogrammes simplement posée sur le sable, dont les couteaux étaient espacés de $0^m,16$.

« On partait de la hauteur initiale de $0^m,65$, et on procédait par augmentations successives de $0^m,05$. Ce système est d'une application délicate et ne donne pas de résultats bien précis.

« On a fait des essais comparatifs sur des barreaux de mêmes dimensions, avec un mouton arrondi de 12 kilogrammes, maintenu par des guides verticaux et une enclume de 800 kilogrammes, scellée dans le sol, dont les couteaux étaient espacés de $0^m,16$, en partant de la hauteur initiale de $0^m,35$ et procédant par augmentations successives de $0^m,03$. Cet appareil donne des résultats plus rapides et plus sûrs, et doit être préféré au précédent.

« Les essais à la *flexion* ont été faits sur des barreaux carrés de $0^m,0815$ de côté et de $0^m,455$ de long, avec l'appareil Monge. Le barreau est placé entre les deux couteaux en acier d'une mâchoire solidement scellée dans un mur (*fig.* 283), et il est assemblé au moyen d'un étrier et d'un coin, avec un levier en fer, à l'extrémité duquel se trouve un plateau que l'on charge de poids ou une cuve que l'on remplit d'eau. La distance entre le couteau inférieur et le point de suspension de la cuve ou du plateau, ou le bras du levier, est de 2 mètres. La cuve permet d'éviter les chocs, et donne des résultats plus précis. On commençait par charger l'appareil d'une manière continue et régulière, jusqu'au poids de 700 kilogrammes (y compris la tare du plateau, ou de la cuve et du levier).

« On laissait ce poids agir pendant une minute, et on procédait ensuite par augmentations successives de 20 kilogrammes à une demi-minute d'intervalle.

Digitized by Google

« Le marché stipulait que les barreaux d'épreuve devaient résister :

« Pour l'essai au choc, avec boulet libre, à une chute minimum de $0^m,75$;

« Pour l'essai à la flexion, à un poids minimum de 700 kilogrammes.

« Quelques barreaux ont présenté des défauts (gouttes froides, pourritures) qui en ont altéré la résistance. »

La *charge de rupture à la compression* est de 85 kilogrammes par millimètre carré pour la fonte au bois, et de 75 kilogrammes par millimètre carré pour la fonte au coke.

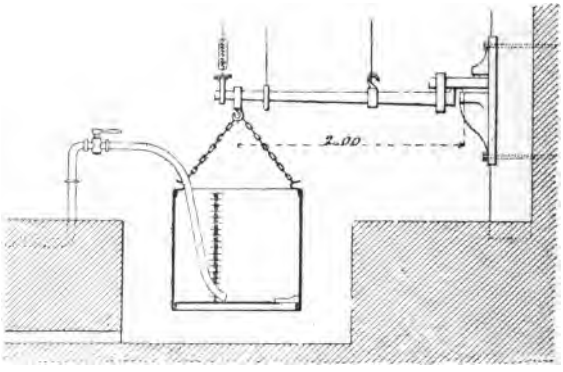


Fig. 283

La *charge de rupture à l'extension* varie de 6,65 à 24 kilogrammes par millimètre carré ; exceptionnellement les fontes à canon résistent à 30 kilogrammes, les allongements correspondants sont de 0,5 à 1 0/0.

Des expériences faites en 1889 ont donné pour les fontes grises une résistance à l'extension de $0^{kg},500$ par millimètre carré avec des allongements de 1 et 1,3 0/0.

Pour les fontes blanches, on a constaté une résistance à l'extension variant de $15^{kg},70$ à $20^{kg},70$ correspondant à des allongements de 2,1 et 2,7 0/0.

Digitized by Google

La *charge limite d'élasticité* varie de 3 à 10 kilogrammes; elle se rapproche de la moitié de la charge produisant la rupture.

Le *module d'élasticité* est de 11,000.

La circulaire émanant du Ministère des Travaux Publics prescrit de ne pas faire travailler la fonte à plus de 1 kilogramme par millimètre carré à la traction, et 5 kilogrammes par millimètre carré à la compression.

211. Poteaux et colonnes en fonte. — Expériences d'Hodgkinson. — Des expériences d'Hodgkinson, il résulte que la résistance à la rupture d'un poteau en fonte est sensiblement constante pour des hauteurs de pièces variant de une à cinq fois la plus petite dimension transversale ; en deçà, la résistance est plus grande, mais diminue rapidement quand ce rapport augmente.

M. Love a donné des formules permettant de calculer la charge de rupture d'une colonne en fonte dont la hauteur varie entre quatre et cent vingt fois le diamètre :

$$P = \frac{R}{1,45 + 0,00337\left(\frac{l}{d}\right)^2},$$

dans laquelle P représente la charge de rupture en kilogrammes;

R, la charge de rupture d'une colonne très courte expérimentée ; c'est la résistance de 7.500 à 8.000 kilogrammes, multipliée par la section de la colonne en centimètres carrés;

l et d sont les dimensions de la colonne rapportées à la même unité.

Pour des colonnes dont la longueur varie de cinq à trente fois le diamètre, on se sert de la formule :

$$P = \frac{R}{0,68 + 0,1\,\frac{}{d}}.$$

Digitized by Google

On ne doit faire travailler la fonte qu'au sixième de la charge de rupture ; la charge de sécurité maximum que pourra supporter une colonne sera donc exprimée par le sixième du poids P donné par les formules précédentes.

Nous résumons les résultats les plus importants des expériences faites par Hodgkinson dans le paragraphe suivant :

1° Pour des piliers de mêmes dimensions, la résistance est encore trois fois plus grande quand les extrémités sont plates et solidement assises, que quand elles sont rondes et capables de tourner ;

2° Le renflement des colonnes vers leur milieu augmente leur résistance de 1/8 environ ;

3° La résistance à la rupture se trouve réduite au tiers quand l'effort que supporte la colonne est dirigé suivant la diagonale et non suivant l'axe ;

4° Une colonne cylindrique résiste moins bien qu'une colonne ayant la forme d'un tronc de cône et renfermant la même quantité de matière que la première ;

5° Pour des colonnes creuses, la résistance est égale à celle de la colonne supposée pleine, moins celle d'une colonne pleine de même hauteur ayant pour section la section du vide ;

6° Les colonnes en fonte résistent mieux que les colonnes en fer tant que la hauteur est inférieure à vingt-huit fois le diamètre. Si la hauteur dépasse vingt-huit fois le diamètre, la colonne en fer résiste mieux ;

7° La résistance élémentaire de la fonte diminue à mesure que la section augmente.

Digitized by Google

212. RÉSISTANCE DES COLONNES EN FONTE

DIAMÈTRE	Poids par mètre de long.	CHARGE DE SÉCURITÉ DONT ON PEUT CHARGER LES COLONNES PLEINES EN FONTE DE HAUTEURS SUIVANTES												
		2m00	2m50	3m00	3m50	4m00	4m50	5m00	5m50	6m00	6m50	7m00	7m50	8m00
mètre	kil.													
0.08	36	19.000	13.000	11.000	8.000	7.000	»	4.500	»	3.000	»	2.100	»	1.900
0.09	46	25 000	19.000	15.000	12.000	10.000	9.000	»	»	»	»	»	»	»
0.10	56	34.000	27.500	23.000	17.000	15.000	12 000	11.000	»	7.650	»	5 700	»	4.500
0.11	69	46.000	36.500	30.000	24.500	21.000	17.000	»	»	»	»	»	»	»
0.12	82	59.000	49.000	42.000	33.000	30.000	23.000	20.000	»	14.000	»	11.000	»	9 000
0.13	96	73 000	61.000	54.000	42.000	39.000	31.000	26.000	»	»	»	»	»	»
0.14	111	92.000	77.000	66.000	54.500	48.000	39.000	34.000	29.000	27.000	»	20.000	»	16.000
0.15	127	110.000	94.000	80.000	67.500	57.000	50.000	42.000	37.000	»	»	»	»	»
0.16	145	129.000	111.000	96.000	82.500	72.000	62.000	53.000	»	47.000	»	32.000	»	25.000
0.17	164	149.000	130.000	113 000	98.000	86.000	75.000	65.000	57.000	50.000	»	»	»	»
0.18	183	170.000	151.000	135.000	115.000	107.000	90.000	82.000	69.000	61.000	54.000	50.000	»	40.000
0.19	205	192.500	173.500	154.000	136.000	120.000	106.000	93.000	82.000	73.500	66.000	»	»	»
0.20	226	224.000	199.000	175.000	158.000	149.000	125.000	112.000	99.000	88.000	78.000	75.000	»	60.000
0.21	250	246.000	223.000	202.000	180.000	162.000	144.000	129.000	116.000	103.000	92.000	82.000	»	»
0.22	275	310.000	252.500	229.000	205.000	191.000	166.000	150.000	135.000	120.000	«	98.000	»	84.000
0.23	300	»	»	256.000	230.000	210.000	190.000	171.000	155.000	139.000	125.000	112.000	102.000	94.000
0.24	326	380.000	»	290.000	262.000	245.000	214.000	193.000	175.000	160.000	144.000	131.000	118.000	105.000
0.25	354	»	»	»	»	264.000	242.000	220 000	200.000	180.000	165.000	150.000	135.000	120.000

Digitized by Google

§ 3. — Essais des fers

213. Les caractères distinctifs des fontes, fers et aciers au point de vue de leurs propriétés physiques et mécaniques, sont résumés dans le tableau suivant :

- Caractères physiques..... Densité. Cassure. Cristallisation.
- Propriétés physiques et mécaniques.
  - A froid
    - Ténacité... Limite d'élasticité. Résistance à la rupture.
    - Malléabilité Allongement. Etirage en feuilles. Pliage sans criques.
    - Ductilité. — Etirage en fil.
    - Dureté.
    - Résistance au choc.
    - Ecrouissage. — Fragilité.
    - Trempe.
    - Recuit.
    - Action du froid
  - A chaud
    - Effet de la dilatation. — Retrait.
    - Conductibilité de la chaleur.
    - Fusibilité.
    - Malléabilité.
    - Ductilité.
    - Soudabilité.
- Propriétés magnéto-électriques..... Magnétisme. Conductibilité électrique.

Il est impossible d'entrer dans le détail de ces différentes propriétés sans empiéter dans le domaine des sciences physiques; au point de vue pratique, voici seulement les plus importantes :

214. La *densité* du fer varie de 7,60 à 8,14; on prend, en moyenne, 7,70.

La texture du fer est une texture à *grains* ou à *nerfs;* un fer à grains, martelé ou corroyé, se transforme en fer à *nerfs;* des martelages successifs augmentent la nervosité du fer, diminuent le carbone contenu et donnent un fer *brûlé*. Inver-

Digitized by Google

sement, un fer à nerfs soumis à des trépidations et à des chocs répétés présente une texture cristalline prononcée.

Les corps alliés au fer modifient sa texture et ses propriétés mécaniques.

Le phosphore durcit les grains, augmente la résistance à la rupture, mais rend le métal cassant à froid (fer *aigre*).

Le soufre nuit au bon soudage des grains, et rend le fer rouverin.

Le froid diminue la résistance au choc des pièces de fer et d'acier.

A mesure que l'on élève la température, le degré de résistance du fer s'abaisse, ainsi que la ductilité et la flexibilité; on ne connaît pas de loi précise donnant la mesure de cette diminution de résistance.

Le tableau suivant indique, entre des températures variant de 0° à 1.000°, la résistance du fer et de l'acier, la résistance initiale à 0° étant prise égale à 100.

TEMPÉRATURE	FER FIBREUX	FER A GRAINS	BESSEMER
0	100	100	100
100	100	100	100
200	95	100	100
300	90	97	94
500	38	44	34
700	16	23	18
900	6	12	9
1000	4	7	7

Ces chiffres indiquent que la résistance du métal ne commence à s'altérer sensiblement que vers 400°, température que peuvent atteindre accidentellement certaines parties de chaudières à vapeur, ou des pièces de charpente après un incendie.

Ce fer chauffé au-delà de 700° devient mou; à 1.100° [1], on

[1] Évaluation des températures élevées d'après la coloration du fer :

Rouge naissant	525°	Orange foncé	1100°
» sombre	750	» clair	1200
Cerise naissant	800	Blanc	1300
Cerise	900	» soudant	1400
Cerise clair	1000	» éblouissant	1500

Digitized by Google

peut le forger; les fers forts et mous peuvent se forger avec facilité (ils ont un *palier étendu*); les fers tendres passent brusquement de l'état solide à l'état liquide.

215. Les épreuves à *froid* ont un intérêt considérable; le *nombre de pliages* a pour but de mettre en évidence la ductilité d'un produit, indépendamment de toute recherche sur sa résistance à l'extension ou à la flexion. Ces essais consistent :

1° A plier des bandes de tôles à la presse ou au marteau ;

2° A poinçonner et à agrandir les trous dans les fers au moyen d'un mandrin conique ; on ne doit constater dans la pièce ni criques, ni gerçures, ni dessoudures.

La *texture* s'apprécie de la manière suivante : on coupe le barreau avec la tranche, et on le maintient sur le bord d'une enclume (*fig.* 284) ; on ouvre la fente au marteau, et l'on constate si l'on a affaire à un fer à grains ou à nerfs.

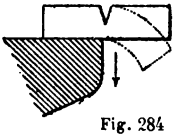


Fig. 284

Les épreuves à *chaud* ont pour objet de vérifier que les fers sont susceptibles d'être travaillés facilement et amenés à leur forme définitive sans détérioration superficielle ; ils sont de plusieurs espèces ; on les retrouvera dans les essais de fers profilés, des tôles, etc.

216. Essais des fers marchands et des fers profilés (*Extrait du cahier des charges de la Compagnie du Nord*). — Les fers employés pour la confection des ferrures se divisent en deux classes : les fers de qualité supérieure et les fers de qualité ordinaire. Ils doivent être soumis, avant la réception, à des essais à froid et à chaud.

1° *Essais à froid.* — On découpera dans les fers employés des éprouvettes cylindriques qui seront rompues sous un effort de traction, dans le but de déterminer la résistance, ainsi que la faculté d'allongement du métal employé. Le nombre des éprouvettes sera fixé par l'agent de la Compagnie chargé de la réception. Il sera, au minimum, de deux par livraison.

La rupture ne devra se produire, en aucun cas, sous une

Digitized by Google

charge inférieure à 38 kilogrammes par millimètre carré de section pour les fers ordinaires. L'allongement correspondant mesuré sur une longueur initiale de 100 millimètres devra atteindre au moins 23 0/0 pour les fers supérieurs, et 7 0/0 pour les fers ordinaires.

2° *Essais à chaud. — Essai de rabattage.* — On découpera, sur un certain nombre de barres prélevées dans le lot en recette, des barreaux d'essais qui seront soumis à l'épreuve suivante : chacun des barreaux sera fendu à chaud à l'une de ses extrémités sur une longueur de 5 à 6 centimètres, suivant un plan médian parallèle à deux des faces. Les deux branches ainsi obtenues seront rabattues à droite et à gauche sur le corps des barreaux.

La même opération sera répétée sur l'autre extrémité, suivant un plan perpendiculaire au premier. Dans ces deux opérations, la fente ne devra pas se prolonger par suite de cet écartement, tant que l'angle formé par les deux branches ne dépassera pas 180° pour le fer supérieur, et 90° pour le fer ordinaire.

Pour le fer supérieur, les deux branches devront pouvoir être rabattues complètement sur le corps des barreaux sans manifester ni criques ni déchirures.

Des barreaux de fer supérieur, étirés au marteau jusqu'à diminution de section du tiers environ, devront pouvoir encore supporter l'épreuve à chaud qui vient d'être décrite.

Essais de soudure. — On soudera à chaud sur chaque barreau une pièce rapportée perpendiculairement à l'axe; puis, on cassera le métal dans la partie soudée. La cassure devra présenter un grain régulier et bien homogène sans aucune ligne de soudure apparente.

Essai de cémentation. — Le fer destiné à la fabrication des pièces cémentées devra pouvoir prendre facilement la cémentation, et aucune crique ne devra se manifester lors de la trempe dans l'eau.

Toutes les pièces forgées à l'étampe seront réchauffées au rouge cerise.

Fers profilés. — Tous les fers seront corroyés, doux, non cassants, malléables à chaud et à froid ; leur cassure présen-

Digitized by Google

tera une texture à nerf fin et homogène. Ils seront parfaitement laminés, sans criques, pailles ni autres défauts. Toute réparation destinée à dissimuler ces défauts est formellement interdite. Ils seront parfaitement dressés avant leur emploi, et devront pouvoir supporter à chaud et à froid les épreuves indiquées ci-après.

Fers à I et en U. — *Épreuves à chaud.* — On commencera par fendre à froid, au moyen de la cisaille, l'extrémité d'une barre prise au hasard dans la livraison, de manière que la fente divise longitudinalement l'âme en deux parties égales sur une longueur égale à trois fois la hauteur du fer, et on percera un trou à l'extrémité de cette fente pour l'empêcher de se fendre. Puis, on écartera, en la manchonnant régulièrement à chaud l'une des moitiés ainsi séparée de l'autre moitié jusqu'à ce que la distance entre les deux extrémités de l'âme soit égale à la hauteur même du fer à **I** ou du fer en **U** (*fig.* 285).

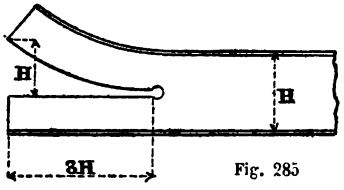


Fig. 285

Les fers ainsi essayés ne devront présenter ni déchirures, ni gerçures, ni fentes indiquant un corroyage imparfait.

Épreuves à froid. — On découpera dans les ailes ou dans l'âme un certain nombre de barres et dans le sens du laminage des bandes plates ayant 30 millimètres de largeur et 200 millimètres de longueur, que l'on façonnera de façon à ce que leur épaisseur soit uniforme, et leur section rectangulaire. Ces bandes seront soumises à des efforts de traction croissant jusqu'à la rupture. Aucune des bandes ne devra se rompre sous une charge initiale de 30 kilogrammes par millimètre carré; les efforts de traction seront augmentés progressivement. Le résultat moyen de six expériences au moins sur la livraison ne devra pas être inférieur aux chiffres suivants :

Charge de rupture moyenne par millim. carré de section..	34 kil.
Allongement correspondant à cette charge.....	9 0/0

Digitized by Google

Fers cornières. — *Épreuves à chaud.* — Il sera exécuté avec un bout de cornière un manchon cylindrique, tel que l'une des branches de la cornière reste dans le plan perpendiculaire à l'axe du cylindre formé par l'autre branche. Le diamètre de ce cylindre sera égal à cinq fois la largeur de la branche restée plane (*fig.* 286).

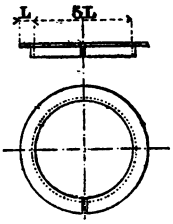


Fig. 286

Sur deux autres bouts de cornières, on amènera les deux branches à former entre elles un angle de 135° pour l'un, et de 45° pour l'autre. Les bouts ainsi essayés ne devront présenter ni gerçures, ni déchirures, ni fentes longitudinales indiquant un corroyage imparfait.

Épreuves à froid. — On découpera dans les branches d'un certain nombre de cornières des éprouvettes ayant au moins 30 millimètres de largeur et 200 millimètres de longueur, que l'on façonnera comme pour les fers à I. Ces bandes seront essayées à la traction, comme il a été dit plus haut, et devront donner les mêmes résultats :

Charge de rupture moyenne par millim. carré de section.	34 kil.
Allongement correspondant à cette charge.....	9 0/0

217. Pour reconnaître le **mode de fabrication** d'une pièce de forge, on se sert des procédés suivants :

On prélève un échantillon; on coupe le fer suivant un plan diamétral, et on traite la section obtenue avec de l'eau régale qui attaque spécialement le fer pur; les joints des mises restent presque intacts ; on peut ainsi distinguer si la pièce est faite par refoulement ou par pièces rapportées.

Au lieu d'eau régale, on peut se servir de bichlorure de mercure qui attaque le fer impur ; il se forme du chlorure de fer en lignes très nettes. Un sel de cuivre laisse un dépôt de ce métal. Ces réactifs permettent de distinguer facilement le fer de l'acier ; le premier laisse apparaître des mises successives, tandis que l'acier présente toujours des soufflures aplaties pendant le laminage.

Digitized by Google

§ 4. — Essais des tôles

218. Les tôles de fer sont généralement classées en sept catégories, dont voici les usages et emplois normaux :

N° 1 : Baquets, boîtes, ponts et charpentes ;

N° 2 : Ponts, charpentes, réservoirs, gazomètres ;

N° 3 : Chaudières ordinaires, bateaux en fer ;

N° 4 : Corps de chaudières, parties façonnées de balcons, réservoirs ;

N° 5 : Chaudières (locomotives) ; bouilleurs et fonds de chaudières ;

N° 6 : Foyers de chaudières, plaques tubulaires, boîtes à feu, conduites de fumée ;

N° 7 : Dômes de locomotives, tôles extra pour parties exposées aux coups de feu.

Voici quels sont les essais auxquels on soumet les tôles employées aux chemins de fer du Nord :

I. *Classement des tôles.* — Les tôles sont classées en six catégories, correspondant aux numéros 2, 3, 4, 5, 6, 7, du commerce.

II. *Fabrication.* — Pendant l'exécution des commandes, le fournisseur devra toujours permettre l'entrée de ses ateliers aux agents de la Compagnie, chargés de suivre la fabrication.

III. *Réception des tôles.* — Les tôles seront livrées parfaitement laminées ; elles devront présenter une surface bien plane, unie, exempte de pailles, soufflures, stries, gales, criques ou tout autre défaut. Leur épaisseur devra être uniforme. La soudure des mises devra être complète, et les tôles qui, pendant les épreuves de réception et de travail de l'atelier, présenteraient des dédoublures, des fentes ou un nerf feuilleté seront refusées.

IV. *Épreuves de réception.* — Pour s'assurer de la qualité des tôles présentées à la réception, il sera fait deux sortes d'épreuves, les unes à *froid*, les autres à *chaud*.

Épreuves à froid. — Ces épreuves consisteront :

1° A déterminer la résistance à la rupture par traction, ainsi

Digitized by Google

que la faculté d'allongement, tant dans le sens du laminage que dans le sens perpendiculaire ;

2° A compléter ces épreuves de traction par le pliage de bandes découpées dans les tôles.

V. *Dimensions des barreaux d'essais à la traction.* — Les morceaux de tôles prélevés pour essais seront redressés à froid avant la confection des éprouvettes ; elles ne devront pas être recuites. Les *barreaux d'épreuves* auront la forme de prismes à section rectangulaire, dont les dimensions seront constamment 30 millimètres pour l'un des côtés, pour l'autre, l'épaisseur même de la tôle. Les résistances seront calculées sur cette section initiale. On ne devra, en aucune façon, toucher aux faces des barreaux ; elles devront rester dans leur état primitif.

La longueur de la partie prismatique soumise à la traction sera toujours exactement de 10 centimètres. Les allongements 0/0 seront calculés sur cette longueur initiale. Ces barreaux à leurs extrémités présenteront une forme telle qu'ils puissent être saisis facilement par les mâchoires de la machine à essayer.

Ils seront soumis à des efforts de traction croissant jusqu'à ce que la rupture ait lieu.

Dans le tableau suivant sont indiqués, pour chaque catégorie, ainsi que pour le sens suivant lequel chaque barreau est découpé, les charges minima moyennes, ainsi que l'allongement minimum moyen, exigés pour l'ensemble des barreaux afférents à un même lot.

Aucun des chiffres obtenus aux essais ne devra descendre au-dessous de ces limites de plus de 3 kilogrammes pour la charge de rupture et de 2 0/0 pour l'allongement.

Il se pourra que, pour les tôles n° 7, la résistance à la rupture soit inférieure à celle exigée, mais compensée par un excédent d'allongement. La tolérance sera de 3 kilogrammes avec surcroît d'allongement de 15 0/0 par kilogramme au moins.

Le nombre des barreaux à essayer sera au minimum de quatre par livraison. On ne pourra jamais obtenir de moyenne entre les résultats obtenus dans un sens, et ceux obtenus dans le sens perpendiculaire.

Digitized by Google

DÉSIGNATION des CATÉGORIES	CHARGES DE RUPTURE en kilogrammes pour 1 mm² DE SECTION INITIALE		ALLONGEMENTS CORRESPONDANT à la charge de rupture en fonction de la longueur soumise à l'essai	
	LONG	TRAVERS	LONG	TRAVERS
Tôle n° 2	30	27	5	2
» 3	31	29	7	4
» 4	32	30	12	8
» 5	33	30	17	9
» 6	35	32	19	12
» 7	37	34	25	20

Pour les tôles n° 7 d'épaisseur inférieure à 8 millimètres les allongements correspondant à la charge de rupture seront :

Pour les tôles de 2 à 4 millimètres inclus : en long, 20 0/0 ; en travers, 15 0/0 ;

Pour les tôles de 5 à 7 millimètres inclus : en long, 23 0/0 ; en travers, 18 0/0 ;

La charge de rupture restera fixée à 37 kilogrammes en long et 34 kilogrammes en travers, sans distinction d'épaisseur.

Épreuves de pliage à froid. — Des bandes seront découpées dans les deux sens sur les tôles déjà choisies pour les essais de traction ; ces bandes auront 40 millimètres à 50 millimètres de largeur, et l'on aura soin d'abattre à la meule ou à la lime les angles formés par les arêtes. Ces bandes ne devront pas être recuites.

Elles seront pincées par une de leurs extrémités dans un étau et l'on frappera avec un marteau sur l'extrémité libre. On s'arrêtera au moment où apparaîtront les premières criques ; la valeur des angles qu'on devra obtenir avant l'apparition des criques est indiquée ci-après :

Digitized by Google

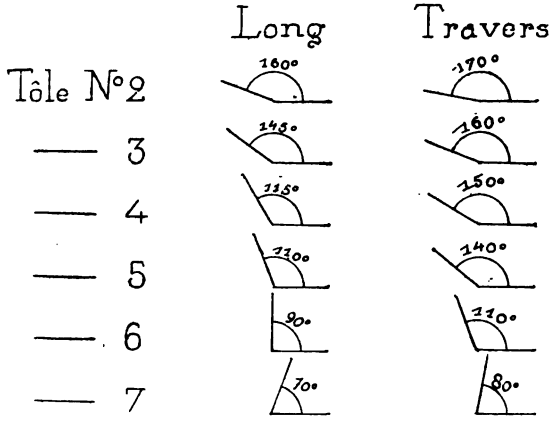


Fig. 286 bis.

Pour les tôles n° 7, d'épaisseur inférieure à 8 millimètres, la valeur des angles à obtenir avant l'apparition des criques sera :

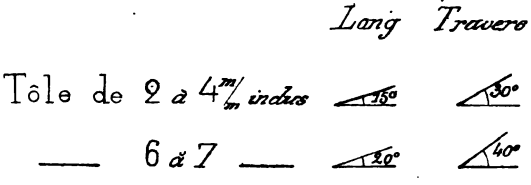


Fig. 286 ter.

Épreuves à chaud. — La température à laquelle seront faites ces épreuves sera voisine du rouge cerise. Elles consisteront :

1° A exécuter avec des morceaux de dimensions convenables provenant des tôles déjà soumises aux précédents essais, soit des cylindres, soit des calottes sphériques à bords plats conservés dans le plan primitif de la tôle, soit des cuves

Digitized by Google

à base carrée; 2° à plier des bandes découpées dans ces mêmes tôles.

Confection des cylindres. — Ce genre d'épreuve s'appliquera aux tôles n° 3. Les cylindres devront avoir pour hauteur et pour diamètre intérieur vingt-cinq fois l'épaisseur de la tôle (*fig.* 287). L'enroulement se fera sur un mandrin et au maillet en bois. Le cylindre terminé ne devra présenter ni criques, ni gerces.

Fig 287

Confection des calottes sphériques. — Ce genre d'épreuve s'appliquera aux n°s 4, 5, 6 et 7. La corde de la calotte mesurée intérieurement devra avoir constamment trente fois l'épaisseur de la tôle. Le plat-bord circulaire de cette pièce aura pour largeur sept fois l'épaisseur de la tôle et se raccordera à la partie sphérique par un congé dont le rayon mesuré intérieurement sera égal à l'épaisseur de la tôle.

La flèche que devra avoir la calotte sera :

Tôle n°	4 :	5 fois l'épaisseur	de la	tôle.
—	5 :	10	—	—
—	6 :	12	—	—
—	7 :	15	—	—

Confection d'une cuve. — Épreuve de la tôle n° 7 seulement. — Il sera confectionné, avec un morceau de dimensions convenables, une cuve à base carrée et à bords relevés d'équerre. Le fond de cette cuve aura pour côtés trente fois l'épaisseur de la tôle, et la hauteur des bords, mesurée intérieurement, sera de sept fois cette même épaisseur. Les bords seront raccordés entre eux et avec le fond par un congé dont le rayon mesuré intérieurement sera égal à l'épaisseur de la tôle. La cuve terminée ne devra présenter ni criques ni gerces.

Épreuves de pliage à chaud. — Des bandes seront découpées dans les deux sens sur les tôles à essayer. Elles seront établies dans les mêmes conditions que celles destinées aux épreuves à froid, et l'essai se fera de la même façon.

Digitized by Google

La valeur des angles que l'on devra obtenir avant l'apparition des criques est indiquée ci-dessous :

	Long	Travers
Tôle n° 2	200°	120°
— 3	90°	100°
— 4	30°	50°
— 5	10°	30
— 6	0°	20°
— 7	0°	0°

Fig. 287 *bis*

Tôle d'acier. — La tôle d'acier est employée couramment pour la fabrication des chaudières à vapeur, dans les ponts de chemins de fer, de navires, etc. La diminution de poids résultant de la plus grande résistance de l'acier par rapport au fer est de 20 0/0.

219. Essais des tôles d'acier (*Circulaire du Ministre de la Marine*). — « *Épreuves à froid.* — Ces épreuves auront pour but de déterminer la résistance à la rupture et la faculté d'allongement du métal, tant dans le sens du laminage que dans le sens perpendiculaire.

On établira séparément les résultats moyens de résistance et d'allongement obtenus dans chacun de ces deux sens au moyen de cinq épreuves au moins pour chacun d'eux.

« ... Les barrettes seront façonnées de manière à avoir pour section un rectangle dont l'un des côtés aura 30 millimètres de largeur, et l'autre l'épaisseur de la tôle. Toutefois, pour les

Digitized by Google

tôles minces au-dessous de 5 millimètres, la largeur de la barrette d'épreuve sera réduite à 20 millimètres, et pour les tôles de 18 millimètres d'épaisseur et au dessus cette même dimension pourra être réduite à l'épaisseur de la tôle.

« La longueur de la partie prismatique soumise à la traction sera toujours exactement de 20 centimètres. Dans aucun cas, les barrettes d'essais ne doivent être recuites...

« ... La charge initiale sera déterminée de manière à produire un effort de traction égal aux 8/10 de l'effort de rupture calculé d'après les données du tableau ci-dessous. Cette première charge sera maintenue en action pendant cinq minutes. Les charges additionnelles seront ensuite placées à des intervalles de temps sensiblement égaux et d'environ une demi-minute ; elles seront calculées autant que possible à raison de un demi-kilogramme de traction par millimètre carré de la section de la barrette à rompre. On notera pour chaque charge l'allongement correspondant mesuré sur la longueur prismatique primitive de 20 centimètres. L'allongement final sera celui produit sous tension au moment de la rupture.

« Pour les tôles, les résultats moyens qui devront être comparés aux chiffres de ce tableau seront ceux qui auront été obtenus dans le sens de la moindre résistance.

ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES	TOLES D'ACIER			
	POUR CONSTRUCTIONS		POUR CHAUDIÈRES	
	Charge moyenne minimum	Allongement final moyen minimum	Charge moyenne minimum	Allongement final moyen minimum
	kilogr.	0/0	kilogr.	0/0
1,5	47	10	»	»
2 à 3 exclusivement	47	12	»	»
3 à 4 —	47	14	»	»
4 à 5 —	46	16	»	»
5 à 6 —	46	18	»	»
6 à 8 —	45	20	42	24
8 à 20 —	45	20	42	26

Digitized by Google

§ 5. — Essais des aciers

Pratiquement, on doit distinguer les aciers en deux catégories : les *aciers soudés*, et les *aciers fondus*.

220. Classification. — Les *aciers soudés* ont la même composition physique que le fer ; on retrouve toujours dans leur masse des scories en filaments allongés ; on les appelle *fers aciéreux*.

Les *aciers fondus*, ou *fers fondus*, se distinguent du fer par l'absence des scories ; ces aciers coulés en lingots contiennent toujours des soufflures.

Voici la classification adoptée par la Compagnie de Châtillon et Commentry pour les aciers ordinaires :

Qualité	Usages
Acier très dur	: N° 2. Limes ;
— dur	: N° 3. Limes, broches de filature ;
— mi-dur	: N° 4. Taillanderie et martellerie, masse, couteaux, tranches, bouterolles ; mèches américaines, faux, scies, barres à mines, etc. ;
— mi-dur tenace	: N° 5. Outils aratoires, socs, versoirs, etc. ; taillanderie et martellerie, coutellerie ; ressorts de chemins de fer, coupe-racines sans biseau ou avec biseau, faux, faucilles ;
— doux	: N° 6. Outils aratoires, socs, versoirs, etc. ; taillanderie et martellerie, tiges de pistons, dents de râteaux, pelles et bêches ;
— très doux	: N° 7. Outils aratoires, socs, versoirs, etc. ; acier remplaçant le fer fin pour cylindres de filatures ; acier soudable pour pelles à douilles, etc. ;

Digitized by Google

Qualité	Usages
Acier extra-doux	: N° 8. Outils aratoires, socs, versoirs, etc. ; se forge au jaune, ne trempe pas, se soude.

221. Influence des corps étrangers sur la résistance des aciers. — Dans les aciers fondus d'un emploi courant, le carbone varie de 0,12 à 1 0/0 ; entre ces limites, on constate que, si l'on fait croître le carbone, la résistance à l'extension augmente, tandis que l'allongement diminue.

La dureté et la résistance vont en croissant ; la température de fusion décroît rapidement de 1.600 à 1.400°. La ductilité et la malléabilité à froid et à chaud diminuent, ainsi que la soudabilité.

La trempe agit d'autant plus rapidement sur l'acier qu'il est plus carburé.

Le *silicium* en grande quantité rend l'acier *rouverin ;* à faible dose, il augmente la résistance à l'extension et diminue l'allongement à la rupture ; il empêche les soufflures de se produire dans le moulage et augmente la soudabilité ; il nuit à la trempe.

Le *manganèse* augmente la limite d'élasticité et la rupture à l'extension ; il diminue les soufflures, accroît la fluidité de l'acier, favorise la trempe, et augmente la soudabilité.

Le *soufre* rend l'acier rouverin, diminue la soudabilité et augmente les soufflures.

Le *phosphore* rend l'acier fragile à froid ; cet inconvénient augmente avec la plus grande carburation du métal.

222. Propriétés physiques et mécaniques[1]. — La densité des fers fondus est de 7,850.

Cassure et cristallisation. — Les fers fondus ont une cassure à grains grisâtres, tendant au nerf.

Un bon échantillon donne de petits cristaux, difficiles à observer ; un métal surchauffé présente des grains plus gros, brillants (*yeux de crapauds*).

D'après MM. Hallopeau et Campredon.

Digitized by Google

Ténacité. — Les fers fondus donnent à la traction une résistance à la rupture variant de 35 à 50 kilogrammes par millimètre carré, avec 25 à 35 0/0 d'allongement, suivant le procédé de fabrication et la composition chimique. La limite d'élasticité atteint fréquemment les deux tiers de la charge totale de rupture.

Malléabilité. — Les fers fondus subissent avec facilité un pliage de 180°, les deux moitiés du barreau d'épreuve étant appliquées l'une sur l'autre sans qu'il se produise de fissure.

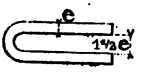


Fig. 288

Après trempe, on ne peut rapprocher les extrémités du barreau qu'à une distance égale à une fois et demie l'épaisseur (*fig.* 288), sauf pour l'acier extra-doux qui peut être plié à contact, même après trempe.

Les fils d'acier peuvent supporter douze à vingt-cinq pliages à angle droit sans criquer.

Dans les cornières, les deux ailes peuvent être ramenées l'une contre l'autre, ou en prolongement l'une de l'autre.

Ductilité. — Les fers fondus subissent mieux que les fers misés l'opération du tréfilage.

Le *poinçonnage*, ainsi que nous l'avons déjà constaté, produit dans les fers aciéreux une diminution de résistance notable au voisinage du trou, ainsi qu'un écrouissage sur une largeur de 1 millimètre environ à la périphérie. La ductilité est augmentée par le laminage, lorsqu'il est fait à une température plus haute que le rouge cerise ; elle est diminuée lorsqu'il a lieu à plus basse température.

Dans les fers fondus *doux*, le trou formé présente des bords assez nets, avec quelques bavures seulement. Un trou de 25 millimètres peut être pratiqué à 15 millimètres du bord d'une tôle ou d'une cornière, sans qu'il y ait de fente.

Résistance aux chocs. — Le cahier des charges de l'Artillerie de terre énonce des essais au choc faits sur des barrettes carrées de 30 millimètres de côté et 200 millimètres de longueur ; elles doivent supporter les chocs du mouton sans criques ni gerces.

Digitized by Google

L'*écrouissage* durcit les fers fondus et les rend très fragiles. Plus le métal est dur, plus l'écrouissage est sensible ; un recuit le fait disparaître. C'est pendant le tréfilage que se manifeste ce durcissement du métal.

Le laminage modifie la structure des parties en contact avec les cylindres et augmente leur dureté et leur ténacité.

La *trempe* augmente la dureté des aciers et leur résistance à la rupture ; il diminue l'allongement et recule la limite d'élasticité. Pour les fers fondus, la trempe rend le métal plus malléable, régularise la structure et augmente l'allongement à la traction.

A chaud. — Les fers fondus se dilatent régulièrement et conduisent bien la chaleur; les aciers extra-doux sont les plus réfractaires, leur point de fusion serait de 1.500° [1].

Malléabilité. — *Ductilité.* — La pureté des fers fondus permet de les travailler à température très élevée (rouge blanc)

[1] Dans la métallurgie du fer on définit les températures jusqu'à 400° par la teinte que prend une lame d'acier parfaitement décapée et chauffée lentement au contact de l'air, en raison de l'oxydation superficielle qu'elle subit.

Coloration	Température	Coloration	Température
Blanc	212	Violet	282
Jaune pâle	216	Bleu clair	288
— paille	232	— foncé	292
— doré	242	— noir	316
Brun,	254	Vert	332
Brun teinté de pourpre	265	Gris d'oxyde	400
Pourpre	277		

NUANCES LUMINEUSES

Rouge naissant	525	Orange foncé	1100
— sombre	700	— clair	1200
— cerise naissant	800	Blanc soudant	1300
Cerise	900	— éclatant	1400
— clair	1000	— éblouissant	1500

Dans les établissements métallurgiques on mesure les températures à l'aide d'appareils d'optique qui permettent de saisir très exactement les nuances lumineuses, en se basant sur les différences de longueur d'onde qui existent entre deux rayons simples du spectre solaire (d'après M. Résal).

Digitized by Google

sans qu'ils soient décarburés. De plus, au rouge sombre ils peuvent être façonnés sans pailler; ils se laminent bien.

On fabrique des tôles d'acier qui subissent l'étamage et exigent moins d'étain.

Une barrette laminée ronde de 16 millimètres de diamètre chauffée au jaune à l'une des extrémités, pliée sur elle-même, redressée, repliée en sens inverse dans la partie chauffée, à angle droit sur le bord vif d'une enclume, fournit dans les bons fers fondus vingt à vingt-cinq pliages sans se rompre ; les mauvais fers fondus donnent au moins quatre ou cinq pliages.

Soudabilité. — L'acier, fondant presque aussitôt après son ramollissement, rend l'opération de la soudure très délicate. On obtient au four à sole des aciers extra-doux soudables. Ces aciers doivent être soudés au blanc et par *amorces croisées;* les autres soudures ne sont pas bonnes; ils se soudent également avec des fers de toutes qualités.

223. Essais des soudures. — Ces essais se font: 1° par *cassure à froid :* On ne doit apercevoir aucun indice d'amorce et la texture doit être la même que celle du métal non chauffé pendant la soudure;

2° *Par essais à la traction :* on voit si la résistance à la rupture et l'allongement ont été modifiés;

3° *Par attaque aux acides :* les soudures, lavées à l'éther et immergées dans l'acide sulfurique étendu pendant trois heures, présentent, lorsqu'on les retire du bain, une ligne moins attaquée que le reste : c'est la trace des amorces qui ont été plus comprimées;

4° *Par pliage à chaud :* une bonne soudure ne présente, lorsqu'elle est pliée sur elle-même, ni décollement ni criques; si la soudure est mal faite, les amorces se séparent complètement;

5° *Par le perçage d'un trou dans la soudure*, qui ne doit pas amener la séparation des amorces ;

6° *Par torsion à chaud :* la soudure tordue en maintenant l'une de ses extrémités dans les mâchoires d'un étau se dessoude au bout de cinq à six révolutions pour les bonnes épreuves.

Digitized by Google

224. Propriétés magnéto-électriques. — Les fers fondus se comportent comme les fers misés au point de vue de l'aimantation ; elle cesse avec le courant ou l'aimant qui l'a fait naître.

La conductibilité électrique est d'autant plus grande que les produits sont plus purs.

En résumé, la supériorité des fers fondus sur les fers misés résulte des propriétés suivantes : résistance à la traction égale ou plus forte ; allongement toujours supérieur ; malléabilité à chaud et à froid plus considérable ; ductilité plus grande. Seule la soudabilité laisse à désirer pour les aciers de qualités inférieure et moyenne.

225. L'emploi des fers fondus tend à se répandre de plus en plus ; au pont du Forth, on a choisi pour la charpente un métal donnant pour caractéristiques de résistance les chiffres suivants :

1° Barres comprimées : résistance à la rupture, 57 kil. par mm² et 17 0/0 d'allongement ;

2° Barres courantes : résistance à la rupture, 47 kil. par mm² et 20 0/0 d'allongement ;

3° Rivets : résistance à la rupture, 41 kil. par mm² et 25 0/0 d'allongement.

Au Palais des Machines on a employé :

Acier courant : résistance à la rupture, 42 à 46 kil. par mm², 20 0/0 d'allongement, 24 kil. pour charge limite d'élasticité.

Rivets : résistance à la rupture 34 à 42 kil. par mm², 28 0/0 d'allongement.

Le Congrès international des Procédés de Construction, tenu à Paris en 1889 a émis l'avis qu'il convenait d'adopter, pour la construction des grands ponts en fer, l'acier très doux soudable caractérisé par les conditions suivantes :

Limite d'élasticité : 28 à 30 kilogrammes ; limite de rupture : 42 à 45 kilogrammes ; allongement de rupture : 22 à 24 0/0 ; striction, ou rapport de l'aire de la section de rupture à son

Digitized by Google

étendue primitive avant l'essai : 0,45. Ce métal se soude facilement, ne prend pas la trempe et acquiert une texture fibreuse par le laminage.

Pour les rivets, il faut faire usage de l'acier très doux à texture fibreuse, dont la limite de rupture est 35 kilogrammes avec allongement de 33 0/0.

Enfin, la Circulaire du Ministre des Travaux publics, du 29 août 1891, recommande pour la construction des ponts métalliques l'emploi des métaux suivants :

Désignation	Limite de rupture à la traction	Allongement de rupture sur 200 mm. de long.
Fer laminé, fer profilé ou plat (dans le sens du laminage)	32	8 0/0
Tôle dans le sens du laminage	32	8
— — perpendiculaire	28	3,5
Acier laminé	42	22
Rivets en fer.....	36	16
Rivets en acier.....	38	28

FIN

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

BOIS

CHAPITRE I

Classification des bois. — Qualités et défauts

§ 1. — Généralités

Numéros.		Pages.
1.	— Composition du bois	1
3.	— Structure du bois	2
4.	— Croissance du bois	4
5.	— Classification des bois	4

§ 2. — Première catégorie. — Bois indigènes

Première classe. — *Bois durs*

6.	— Chêne	4
7.	— Frêne	5
8.	— Orme	5
9.	— Châtaignier	6
10.	— Noyer	6
11.	— Hêtre	6

Deuxième classe. — *Bois blancs*

12.	— Peuplier, acacia, tremble, aulne, bouleau, tilleul, platane, charme, érable, marronnier	7

Digitized by Google

Troisième classe. — *Bois à fruits*

Numéros. Pages.
13. — Cormier, poirier, pommier, alisier, cornouiller, buis, cerisier, prunier, olivier 9

Quatrième classe. — *Bois résineux*

14. — Pin, sapin, mélèze, if, eucalyptus 10

§ 3. — Deuxième catégorie. — Bois exotiques

15. — Acajou, ébène, gaïac, palissandre, thuya, pitchpin, teak 11

§ 4. — Densité des bois

17. — Densité des bois cordés 13

§ 5. — Défauts des bois

19. — Pourriture 14
20. — Grisettes 14
21. — Cadranure 14
22. — Trou d'abatage 15
23. — Ulcère 15
24. — Carie 15
25. — Nœuds 15
26. — Fentes. — Gerces 15
27. — Roulure. — Lunure. — Double aubier 16
28. — Gélivures. — Frottures. — Fibres torses 16
29. — Insectes destructeurs des bois 17

§ 6. — Indices de la bonne qualité des bois

30. — Généralités 17

Digitized by Google

CHAPITRE II

Préparation des bois

§ 1. — Abatage

Numéros. Pages.
31. — Procédés d'abatage 19
32. — Époques d'abatage 20

§ 2. — Mesurage des bois

33. — Bois sur pied. — Bois en grume 20

§ 3. — Bois du commerce

34. — Bois en grume. — Bois de fente. — Bois de sciage. 22

§ 4. — Débitage des bois

35. — Méthodes de débit 23
36. — Équarrissement 24
37. — Dimensions des bois équarris du commerce 25

§ 5. — Dessiccation du bois

38. — Généralités 27
39. — Flottage 28
40. — Séchage à l'air. — Piles. — Hangars 28
41. — Séchage à l'air chaud. — Fumage 29

§ 6. — Conservation du bois

42. — Généralités 31
43. — Enduits extérieurs. — Flambage. — Goudronnage. — Peinture 32

§ 7. — Injection des bois

44. — Sel marin. — Bichlorure de mercure. — Chlorure de zinc. — Sulfate de cuivre 33

Digitized by Google

Numéros. Pages.
45. — Procédé Boucherie..... 34
46. — Procédé Légé et Fleury..... 36
47. — Créosotage. — Procédé Forestier..... 36

CHAPITRE III

Assemblages des bois. — Machines-outils

§ 1. — Assemblages. — Ferrures

48. — Assemblages en bois de fil. — Assemblages en bois d'about. — Assemblages en bois de travers. — Embrèvements. — Assemblages d'angle. — Moises... 38
49. — Ferrures..... 45
50. — Courbure et ployage des bois..... 45

§ 2. — Débitage des bois

51. — Généralités..... 46
52. — Sciés..... 47
53. — Sciage mécanique..... 50
54. — Scies alternatives..... 51
55. — Résistance au sciage..... 55
56. — Scies à découper. — Scies à placage..... 56
57. — Scies à ruban..... 57
58. — Scies circulaires..... 61
59. — Prix de revient..... 63

§ 3. — Tournage du bois

60. — Tours..... 64

§ 4. — Rabotage des bois. — Travail des outils

61. — Outils..... 66
62. — Rabotage mécanique..... 70
63. — Outil tournant..... 74

Digitized by Google

§ 5. — MORTAISAGE. — PERÇAGE, ETC.

Numéros. Pages.
64. — Mortaisage. — Perçage..... 76
65. — Moulurage 78
66. — Machines diverses : machines à tenons, etc 80

§ 6. — INSTALLATION DES MACHINES-OUTILS A BOIS

67. — Ateliers d'Hellemmes. — Généralités..... 83

CHAPITRE IV

Résistance et essais des bois

§ 1. — RÉSISTANCE A LA TRACTION

68. — Généralités..... 88

§ 2. — RÉSISTANCE A LA COMPRESSION. — POTEAUX EN BOIS

69. — Tableau donnant les charges permanentes que peut supporter un poteau de chêne de section carrée.... 91

§ 3. — RÉSISTANCE A LA FLEXION. — LIMITE D'ÉLASTICITÉ TORSION

70. — Tableau donnant la résistance des bois à la flexion... 93
71. — Charge limite d'élasticité 93

§ 4. — ESSAIS DES BOIS. — SPÉCIFICATION

72. — Extrait du devis-type arrêté par le Ministère des Travaux publics. — Spécification pour les bois de menuiserie..... 95

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

MÉTAUX

CHAPITRE I

Notions générales de métallurgie

§ 1. — Fonte. — Fer. — Acier. — Généralités. — Minerais Fondants. — Combustibles

Numéros. Pages.
73. — Définitions..... 97
74. — Généralités..... 98

§ 2. — Fabrication de la fonte

75. — Haut-fourneau et accessoires..... 100
76. — Construction. — Séchage..... 103
77. — Marche du haut-fourneau..... 105
78. — Charges. — Coulées..... 106
79. — Allures du haut-fourneau. — Mise hors feu..... 107
80. — Théorie..... 108
81. — Produits obtenus..... 110
82. — Laitiers, leur utilisation..... 111

§ 3. — Différentes espèces de fontes. — Fontes grise, blanche Fontes de moulage. — Fusion

83. — Définitions..... 111
84. — Fontes de moulage..... 113
85. — Fusion au creuset. — Cubilot..... 113
86. — Réverbère..... 116

§ 4. — Moulage de la fonte

87. — Différentes sortes de moulages..... 116
88. — Procédés de moulage..... 118

Digitized by Google

Numéros. Pages.
89. — Généralités..... 118
90. — Défauts des fontes..... 119
Fonte malléable..... 120
91. — Exemples de moulage..... 121
92. — Moulage en coquille..... 123

§ 5. — FABRICATION DES FERS ET DES ACIERS PAR AFFINAGE DE LA FONTE

93. — Généralités..... 125
94. — Affinage au bas foyer. — Procédé comtois..... 125
95. — Affinage au four à réverbère. — Puddlage..... 127
96. — Théorie du puddlage..... 129
97. — Puddlage mécanique..... 131
98. — Cinglage et étirage des boules. — Laminoirs. — Fers obtenus..... 131
99. — Affinage pneumatique au convertisseur..... 134
100. — Travail acide..... 136
101. — Travail basique. — Traitement des fontes phosphoreuses..... 137
102. — Affinage en petit. — Convertisseur Robert..... 138
103. — Affinage par réactions..... 139
104. — Affinage au réverbère fixe et au four tournant (four Pernot)..... 141

§ 6. — FABRICATION DE L'ACIER PAR CARBURATION DU FER

105. — Cémentation. — Fusion..... 144
Raffinage de l'acier brut..... 146
106. — Trempe de l'acier..... 146
107. — Préparation du fer par la méthode directe. — Utilisation des vieux fers..... 147
108. — Utilisation des fers de ferrailles..... 148

§ 7. — PETITS MÉTAUX

109. — Cuivre..... 149
110. — Tableau indiquant les poids par mètre courant de tuyaux brasés en cuivre rouge..... 151
111. — Tableau indiquant les poids du mètre courant des tubes sans soudure en cuivre rouge..... 152
112. — Étain..... 153
113. — Plomb..... 153

Digitized by Google

Numéros. Pages.
114. — Tableau des tuyaux en plomb pour conduites à gaz ou conduites d'eau 154
115. — Zinc 154
116. — Poids et dimensions des feuilles de zinc du commerce. 156
117. — Nickel 156
118. — Aluminium 157

§ 8. — ALLIAGES. — BRONZES. — LAITONS. — MÉTAL ANTIFRICTION. — MASTICS

119. — Généralités 157
120. — Bronzes 158
121. — Laiton 160
122. — Tuyaux en laiton sans soudure 161
123. — Alliages divers 161
124. — Mastics 162

§ 9. — SOUDURES

125. — Soudures diverses. — Cément 163

CHAPITRE II

Fabrication des fers spéciaux et des tôles

§ 1. — FABRICATION DES RAILS D'ACIER ET DES GRANDS PROFILÉS EN FER ET EN ACIER

126. — Formation des paquets. — Chauffage. — Serrage. — Laminage des blooms. — Affranchissement des barres. — Dressage 165

§ 2. — FABRICATION DES BARRES ET DES TÔLES

127. — Confection des paquets. — Serrage. — Laminage... 168
128. — Tôles 171
129. — Fers du commerce 172
130. — Classification des fers 174
131. — Fers plats. — Poids approximatifs en kilogrammes par mètre courant 176

Digitized by Google

Numéros. Pages.
132. — Fers carrés et ronds. — Poids par mètre courant... 178
133. — Tableau donnant les poids par mètre des tôles du commerce 179
134. — Fers à I du commerce (Usine du Creusot)..... 180
135. — — (Usine de Vezin-Aulnoye 181
136. — Fers en U (Usine du Creusot) 182
137. — Cornières égales (Forges de Denain et d'Anzin)..... 183
138. — Cornières inégales (Forges de Denain et d'Anzin)... 184

§ 3. — Fabrication du fil de fer et d'acier

139. — Jauge décimale..... 185
140. — Jauge de Paris 185
141. — Jauge de Limoges..... 186
142. — Jauge de Birmingham 186
143. — Jauge carcasse..... 186
144. — Tréfilage 187
145. — Propriétés mécaniques des fils. — Résistance. — Câbles 188

§ 4. — Fabrication des fers blancs et des tôles plombées

146. — Préparation des tôles. — Etamage ou finissage..... 192

CHAPITRE III

Travail des métaux. — Machines-outils

§ 1. — Constitution d'un atelier. — Travail du fer

147. — Forge. — Outillage..... 194
148. — Différentes sortes de soudures. — Exemples 197
149. — Machines à souder..... 201

§ 2. — Chaudronnerie en fer

150. — Dressage..... 202
151. — Traçage..... 202
152. — Découpage 203
153. — Poinçonnage 207
154. — Rabotage et chanfreinage..... 208
155. — Cintrage des tôles..... 209
156. — Emboutissage 211
157. — Montage 212

Digitized by Google

§ 3. — Chaudronnerie en cuivre

Numéros. Pages.
158. — Brasage 213
159. — Etirage 214
160. — Cintrage 216

§ 4. — Ajustage

161. — Outils employés. — Lois de déformation des métaux. 216

§ 5. — Tournage

162. — Tours : banc; poupée fixe; chariot porte-outil; poupée mobile 219
163. — Tours parallèles 221

§ 6. — Rabotage

164. — Machines à raboter en général 223
165. — Machines à raboter à outil fixe 224
166. — Machines à raboter à outil mobile. — Etau limeur.. 225

§ 7. — Perçage

167. — Perçage à la main. — Perçage mécanique 227
168. — Machine à percer radiale 230

§ 8. — Fraisage

169. — Fraises 231

§ 9. — Mortaisage

170. — Outils et machines 233

§ 10. — Machines-outils spéciales

171. — Machine à aléser les cylindres 235
172. — Taraudage 236
173. — Taille des dents d'engrenage 240

Digitized by Google

CHAPITRE IV

Assemblages divers

§ 1. — Assemblages a boulons

Numéros. Pages.
174. — Composition d'un boulon. — Généralités 241
175. — Tête..... 242
176. — Partie filetée : Règles de Whitworth et de Sellers... 242
177. — Ecrous..... 245
178. — Boulons divers..... 247
179. — Moyens d'arrêt des boulons..... 247
180. — Clés..... 249
181. — Vis à bois. — Vis à fer 250
182. — Tableau des vis à bois à tête fraisée et à tête ronde (série Japy)..... 251

§ 2. — Assemblages a clavettes

183. — Clavettes de serrage. — Clavettes d'arrêt. — Contre-clavettes..... 251

§ 3. — Assemblages des arbres

184. — Généralités..... 253
185. — Accouplement de Sellers..... 254
186. — Accouplement à plateaux..... 254
187. — Manchons à frettes en fer..... 256
188. — Accouplement à griffes..... 256

§ 4. — Joints de tuyaux

189. — Assemblages à vis, à emboîtement, à brides. — Assemblages spéciaux. — Cintrage des tuyaux.... 257
190. — Brides rondes..... 262
191. — Brides ovales..... 263

Digitized by Google

CHAPITRE V

Rivure

§ 1. — Différentes formes de rivets. — Épreuves

Numéros. Pages.
192. — Généralités 264

§ 2. — Pose des rivets a froid et a chaud

193. — Bouterolle. — Turc 267
194. — Chauffage des rivets 268
195. — Matage des rivets et de la tôle. — Généralités 271

§ 3. — Dispositions diverses de rivures

196. — Formules diverses 272
197. — Rivures pour chaudières à vapeur 275

§ 4. — Rivure mécanique

198. — Généralités 277
199. — Machines à river à vapeur 278
200. — Riveuse Lebrun 280
201. — Machines à river à air comprimé 280
202. — Riveuses hydrauliques 280
203. — Riveuse Twedell 281
204. — Riveuses Piat-Delaloé 282
205. — Riveuses mobiles 286
206. — Riveuse électrique 290

CHAPITRE VI

Essais et résistance des métaux

§ 1. — Barreaux d'épreuves

207. — Généralités 292
208. — Principes des machines à essayer les métaux 294

Digitized by Google

§ 2. — Essais des fontes. — Caractères généraux

Numéros. Pages.
209. — Généralités 296
210. — Essais des fontes employées au pont Sully, à Paris. 297
211. — Poteaux et colonnes en fonte. — Expériences d'Hodgkinson 299
212. — Résistance des colonnes en fonte 301

§ 3. — Essais des fers

213. — Caractères des essais 302
214. — Généralités 302
215. — Épreuves 304
216. — Essais des fers marchands et des fers profilés 304
217. — Modes de fabrication des pièces 307

§ 4. — Essais des tôles

218. — Classification. — Épreuves à froid et à chaud 308
219. — Essais des tôles d'acier 313

§ 5. — Essais des aciers

220. — Classification 315
221. — Influence des corps étrangers sur la résistance des aciers 316
222. — Propriétés physiques et mécaniques 316
223. — Essais des soudures 319
224. — Propriétés magnéto-électriques 320
225. — Généralités 320

Tours, imprimerie Deslis Frères, 6, rue Gambetta.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

NOV 13 1935

Digitized by Google

Eng 1278.96
Bois et metaux,
Cabot Science
001339710
3 2044 091 913 939

Digitized by Google